



TITLE:

河川開発と環境保全のコンフリクト存在下における代替案の評価と合意形成に関する研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

佐藤, 祐一

CITATION:

佐藤, 祐一. 河川開発と環境保全のコンフリクト存在下における代替案の評価と合意形成に関する研究. 京都大学, 2008, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2008-03-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r12196>

RIGHT:

河川開発と環境保全のコンフリクト存在下における
代替案の評価と合意形成に関する研究

2008 年 1 月

佐 藤 祐 一

目次

第 1 章	序論	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究の目的	2
1.3	研究の構成	3
第 2 章	河川開発と環境保全のコンフリクト	6
2.1	河川開発を巡るコンフリクトの要因分析	6
2.1.1	反対運動の生起時期と反対理由	6
2.1.2	反対運動が生起した流域環境の特徴	9
2.1.3	事例分析	18
2.2	コンフリクトと合意形成に関する既往研究	21
2.3	コンフリクト研究のフレームワーク	23
第 3 章	代替案の評価に関する既往研究	27
3.1	多属性意思決定手法のレビュー	27
3.1.1	非補完的手法	28
3.1.2	ゲーム理論に基づく手法	30
3.1.3	理想点に基づく手法	33
3.1.4	定性データに基づく手法	35
3.1.5	対話型情報収集に基づく手法	36
3.1.6	アウトランキング手法	38
3.1.7	総合評価法	40
3.2	多属性意思決定手法の適用可能性	43
3.2.1	開発と環境のコンフリクト問題への適用可能性	43
3.2.2	多属性意思決定手法のまとめ	47
第 4 章	コンフリクト存在下における代替案の評価手法	49
4.1	効用関数と価値関数の概要と問題点	49
4.1.1	効用関数と価値関数	49
4.1.2	効用関数と価値関数の問題点	54
4.2	満足関数の構築	55
4.2.1	必要度の算出	55
4.2.2	満足関数の構築	58
4.3	代替案の評価と合意形成への展開	62

4.3.1	代替案の評価	62
4.3.2	合意形成への展開	63
第5章	吉野川第十堰問題におけるコンフリクト	69
5.1	吉野川第十堰問題の経緯	69
5.2	第十堰や河川環境に対する住民意識の社会調査	76
5.2.1	市民グループに対する調査	76
5.2.2	第十堰周辺住民に対する調査	77
5.2.3	両調査結果の比較と考察	80
5.3	吉野川第十堰問題の特徴	80
5.4	吉野川第十堰問題におけるコンフリクトの要因	83
第6章	吉野川第十堰問題における代替案の評価	86
6.1	吉野川第十堰問題におけるステイクホルダー	86
6.2	ステイクホルダーの満足関数	86
6.2.1	治水に関する満足関数	86
6.2.2	生態系に関する満足関数	96
6.2.3	親水に関する満足関数	101
6.3	代替案の評価	109
6.3.1	代替案がステイクホルダーに与える影響	109
6.3.2	代替案の評価	113
第7章	結論	116
7.1	結果の要約	116
7.2	今後の課題	117
	参考文献	121
	表一覧	128
	図一覧	129
	付録A ダム・堰建設反対運動データ	132
	付録B 一級水系データ	136
	付録C 主成分分析の概要	140

第1章 序論

1.1 研究の背景

ダムや堰の建設、河川改修などの河川開発は、治水や利水に一定の効果をもたらす一方、住民の移転や生態系・水質への影響、堆砂や下流への土砂供給不足の問題、地域文化の崩壊などを引き起こすケースも少なくない。例えば徳山ダムは洪水調節、用水供給、発電などを目的とした多目的ダムであるが、その建設のために約 500 世帯の移転を伴い、ダム建設予定地に特別天然記念物に指定されている大型猛禽類の存在が確認されいながら建設が進められている。二風谷ダムも洪水調節、用水供給、発電などを目的とした多目的ダムであるが、アイヌ民族の反対にも関わらずその聖地に建設され、現在も堆砂問題が指摘されている。このように河川開発のもたらすメリットとデメリットを巡り、日本全国で多数のコンフリクトが生起している。

特に生態系への影響や洪水時の流量、水需要量など各種の予測については不確実性が強く、コンフリクトを一層複雑なものにしている。長良川河口堰の建設にあたってはアユやサツキマス、シジミ、水質等への影響を巡り建設省側と反対派が激しく対立し、また建設後の評価についても論争が続いている(例えば、久野, 1993; 開発問題研究所, 1991a,b; 日本弁護士連合会, 1995; 村上ら, 2000; 柿崎, 2001; 帯谷, 2004)。治水計画の根拠となる基本高水流量の計算については、森林のいわゆる「緑のダム」機能の捉え方と計算への応用方法について、川辺川ダムや吉野川可動堰、長野県のダムなどで多くの議論を呼んでいる(蔵治ら, 2004)。水需要の予想についても、例えばこれまでの国の水資源需要に関する長期予測は、Fig.1.1 に示すように実績値から大きく外れてきた(嶋津, 1997)。

一方で近年の異常気象の頻発や土地利用構造の変化などにより、より一層の治水・利水対策が必要とする声も上がっている。日本の年降水量平年比は Fig.1.2 に示すとおり、近年年毎の変動幅が広がる傾向があり、20 世紀前半と比較して著しく少雨となる年も見られる(気象庁, 2006)。最近の 10 年間(1997~2006 年)では Fig.1.3 に見られるように、短時間に集中的に雨が降る事例が明らかに多くなっている(内閣府, 2007)。また河川氾濫区域内への資産の集中・増大に伴い、近年、浸水面積当たりの一般資産被害額(水害密度)が急増しており(内閣府, 2007)、河川開発を巡るコンフリクトは今後より激化することが予想される。

ところで「コンフリクト」を「何らかの点で違いがある人や組織や社会が緊密に接触するとき、そこにものの考え方や価値観や利害に衝突が生じる(あるいは生じている)状態」(岡田ら, 1988)と定義すれば、河川開発を巡りステイクホルダー間でコンフリクトの生じること自体は悪いことではないと考えられる。コンフリクトが生じるということは、住民それぞれが真剣に川との関わりを考えているということの証拠であり、異なる意見を有する人々が共通の場で将来の川について話し合っていくことができれば、人と川との関わりは一層深く、良いものになっていくだろう。そのためには、コンフリクトの発生が予想される場合に、計画の早い段階で、それまでに作成した代替案の背景と、もたらされる結果や影響を公開し、コンフリクトの本質的な争点を明らかに

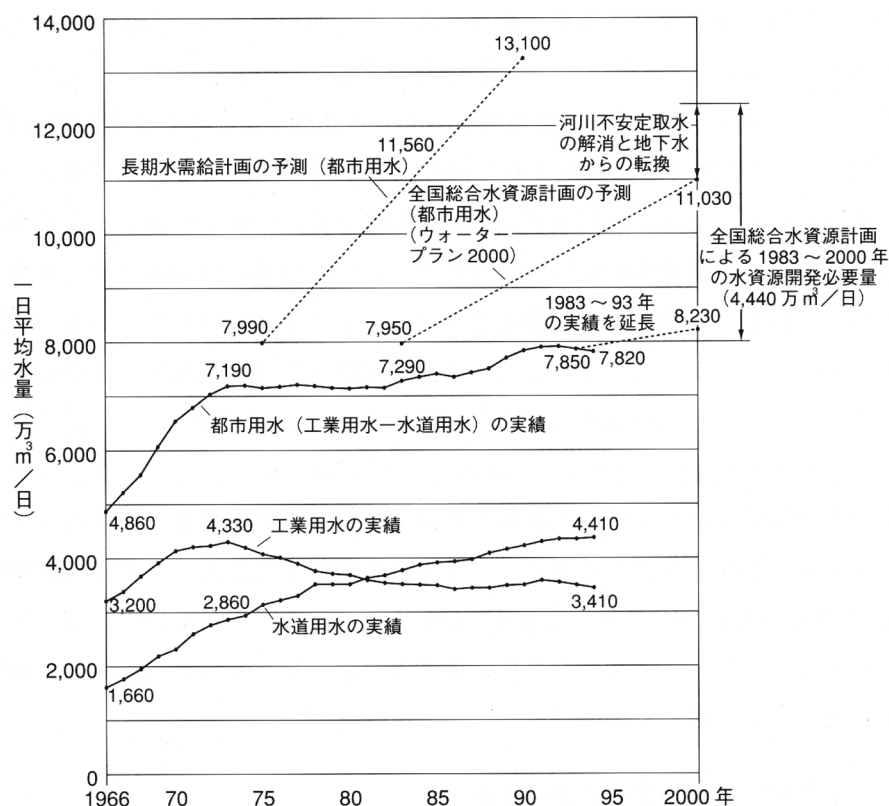


Fig. 1.1: 都市用水に関する長期水需要予測と実績 (嶋津, 1997)

することが望まれる (萩原ら, 2006a). 1997年に改正された河川法でも, 第1条で治水と利水の他環境が河川管理の目的として加えられ, また第16条の2で住民の意見を反映させるための措置について述べられているが, その手段としては「公聴会の開催等必要な措置」とあるのみで, その具体的なプロセスや手法については言及されていない. したがって, 河川開発に関わるステイクホルダーが互いの立場の違いを理解し, 合意形成の基に河川のあるべき姿を意思決定するための方法論の確立が急務であると考えられる.

1.2 研究の目的

以上の背景より, 本研究では, 河川開発と環境保全のコンフリクト存在下において, 代替案の持つ多様な側面を公正に評価し, ステイクホルダーに社会的な視点を持たせ, 合意形成やよりよい意思決定につなげるための方法論の開発を行うことを目的とする. 具体的には, 複数の河川開発代替案が各ステイクホルダーに与える影響を多角的に, かつその大きさの相互比較が可能となるように評価する方法論を構築することを目的とする. これにより, 各ステイクホルダーは他のステイクホルダーへの影響を自身のそれとの比較の上で評価することが可能となり, 合意形成に必要な「歩み寄り」, そして「フレーム・オブ・レファレンス (当事者の抱える判断・意味付けの枠組み) の組替え (合意形成研究会, 1997)」をより促進できると考えられる.

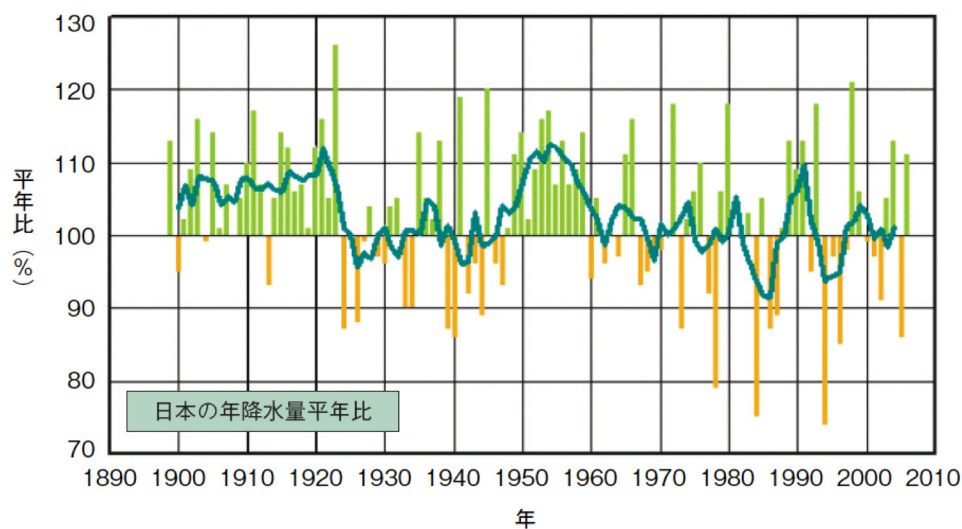


Fig. 1.2: 日本の年降水量平年比 (気象庁, 2006)

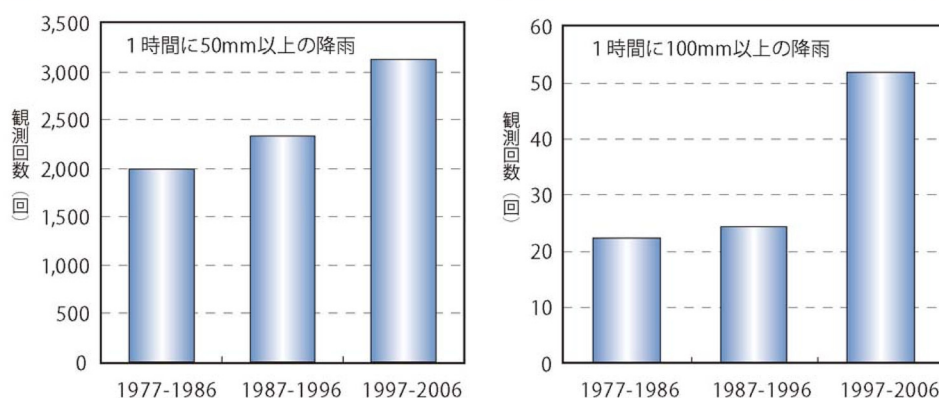


Fig. 1.3: 短時間集中豪雨の変遷 (内閣府, 2007)

1.3 研究の構成

本研究は本章の他、以下の6章により構成されている (Fig.1.4)。

第2章では、日本における河川開発と環境保全のコンフリクトについて要因分析を行い、既往研究をレビューした上でコンフリクト研究のフレームワークについて述べる。2.1では日本における河川開発と環境保全のコンフリクトが生じた要因を、時期と反対理由、流域の特徴から分析し、事例を基に考察する。2.2では社会資本整備を巡るコンフリクトや合意形成に関する研究のレビューを行う。2.3ではコンフリクト研究を行う際の全体のフレームワークについて述べる。

第3章と第4章は代替案の評価に関する理論を構築する章であり、既往研究のレビューとその問題点を明らかにした上で、新たな手法の提案を行う。

第3章では、代替案の評価に関する既往研究のレビューを行い、その適用可能性について述べる。3.1では多属性意思決定手法を7つのカテゴリーに分類し、その代表的なものについて手法の概要をまとめる。3.2では3.1でレビューした各手法について、河川開発と環境保全のコンフリクトへの適用可能性について述べる。

第4章では、コンフリクト存在下における代替案の評価に関する新たな理論の構築と合意形成の方法論について述べる。4.1では、意思決定主体による評価を定量的に表現する方法としてよく用いられる効用関数と価値関数の概要とそれを本研究に適用することの問題点について述べる。4.2では、4.1の問題点を踏まえ、「満足関数」という新たな評価手法を構築する。4.3では、満足関数を用いた代替案の評価手法と、これを合意形成に展開する際の方法論について述べる。

第5章と第6章は以上で構築した理論を具体の事例に適用する章であり、本研究では事例として吉野川第十堰問題を取り上げる。

第5章では、吉野川第十堰問題におけるコンフリクトを、文献調査、社会調査、他のコンフリクトとの比較によりその特徴と要因を明らかにする。5.1では、吉野川第十堰問題の経緯を、文献調査やこれまで筆者が関わってきた経験から述べる。5.2では、徳島市の市民グループや第十堰周辺住民に対して、第十堰や河川環境に関する社会調査を実施した概要と結果について述べる。5.3では、5.1、5.2、2.1を受けて吉野川第十堰問題の特徴を他流域との比較も交えて整理する。5.4では、5.1、5.2を受けて吉野川第十堰問題のコンフリクトの要因を考察する。

第6章では、第4章で構築した手法を吉野川第十堰問題に適用し、代替案の評価を行う。6.1では、第5章を受け、吉野川第十堰問題におけるステイクホルダーの設定を行う。6.2では、治水、生態系、親水の3種のステイクホルダーについて、現状調査も踏まえてそれぞれの満足関数の構築を行う。6.3では、6.2の結果を用いて、現状維持と可動堰建設という代替案の評価を行う。

第7章は結論であり、本研究の結果の要約と今後の課題について述べる。

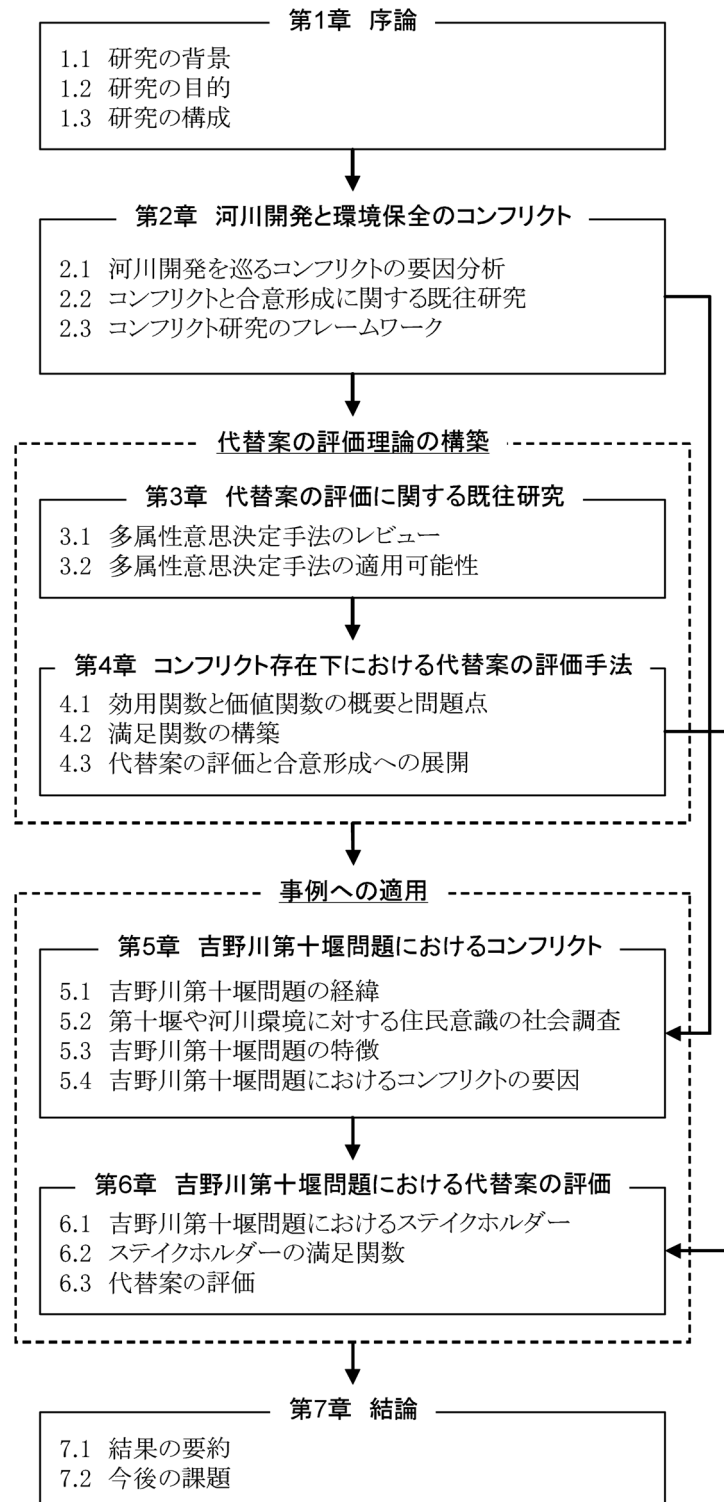


Fig. 1.4: 研究の構成

第2章 河川開発と環境保全のコンフリクト

河川開発を巡るコンフリクトの解決策を探るためには、まずコンフリクトがどのような状況・要因で生じたのかを分析する必要がある。本章では日本の河川開発を巡るコンフリクトを、反対運動の生起時期と反対理由、反対運動が生起した流域環境の特徴、という2点から整理・考察し、そのうちいくつかについては事例分析を行う。これにより、コンフリクトの特徴を時空間的に明らかにする。またコンフリクトと合意形成に関する既往研究のレビューを行い、これまでどのような取り組みがなされてきたのかを把握する。これらを受けて、コンフリクト研究のフレームワークと本研究の位置づけについて述べる。

2.1 河川開発を巡るコンフリクトの要因分析

2.1.1 反対運動の生起時期と反対理由

世界と日本の水資源コンフリクトを比較した場合、世界における主たる水資源コンフリクトは絶対的な水不足に起因して発生しているが、日本における水資源コンフリクトは主に環境と開発という問題が争点となっていると言える(萩原ら, 2006a)。日本におけるコンフリクトを具体的に眺めれば、水没予定地域の住民による生活保全運動から自然保護運動、多様な運動の合流など、時代と共にその特徴が変化していると考えられる(帯谷, 2004)。そこで日本におけるコンフリクトの特徴をより詳細に分析するために、戦後から現在までの河川開発に対する反対運動とその特徴などについて、データの収集・整理を行った。

本研究では河川開発として、日本において特に反対運動の激しいダム・堰建設を取り上げ、また反対運動としては、住民らによって組織的に反対運動が行われた事例のみを対象とした。またデータの収集にあたっては、文献調査とインターネットによる調査を主とした。インターネットによる調査については信憑性に欠ける部分もあるが、行政など信頼できる組織から公表されているデータをできるだけ利用し、またそうでないものについても複数のサイトで確認するなどの対処を行った。反対理由などについては団体やサイトによって異なるケースもあったが、ここではコンフリクトの時空間的特徴を大きく捉えることが目的であるため、ある程度信頼できると判断したものについてはできるだけデータとして整理するようにした。

反対運動について収集・整理した項目は以下の8個である。

1. 水系名
2. 反対運動の生起時期
3. 位置と諸元

Table. 2.1: 各年代に生じた反対運動

年代	反対運動のあったダム・堰				
～1950	尾瀬原ダム 田子倉ダム 御母衣ダム	赤岩ダム 苜田ダム	小歩危ダム 沼田ダム	下笠ダム 日向神ダム	菌原ダム 松原ダム
1960	大滝ダム 温井ダム	緒川ダム 灰塚ダム	早明浦ダム 日吉ダム	徳山ダム 矢田ダム	南摩ダム ハッ場ダム
1970	板取ダム 長島ダム 平取ダム	大仏ダム 長沼ダム 細川内ダム	小川原湖河口堰 長良川河口堰 真名子ダム	清津川ダム 新月ダム 宮ヶ瀬ダム	滝沢ダム 二風谷ダム 竜門ダム
1980	足羽川ダム 千曲川上流ダム	石木ダム 当別ダム	鴨川ダム 長良川河口堰	設楽ダム 新月ダム	関川ダム
1990～	家地川ダム(佐賀取水堰) 大仏ダム 紀伊丹生川ダム 蓼科ダム 築川ダム 浅川ダム 南摩ダム	五木ダム 金居原下部ダム 木曽中央下部ダム 徳山ダム 矢作川河口堰 宇奈月ダム 東大芦川ダム	浦山ダム 金居原上部ダム 木曽中央上部ダム 松倉ダム 山鳥坂ダム サンルダム 榎尾川ダム	永源寺第二ダム 川上ダム 相模大堰 武庫川ダム 吉野川可動堰 新内海ダム ハッ場ダム	追原ダム 川辺川ダム 下諏訪ダム 最上小国川ダム 安威川ダム 津付ダム

4. 建設目的

5. 事業者と事業費

6. 反対運動団体名

7. 反対理由

8. 推進運動団体名

結果的に、79のダム・堰建設反対運動についてデータを収集・整理することができた。その詳細は付録Aに示すが、以下ではそれを集計した結果について述べる。

戦後から現在までの各年代に反対運動の生じたダム・堰名をTable.2.1に、またその数と反対理由の変遷をFig.2.1に示す。なお複数の反対理由を掲げた運動については重複してカウントしている。また同じダム・堰であっても、時代により異なる理由・主体により反対運動の生じている場合には複数の年代に記載している。

これより、各年代の反対運動の特徴について以下のように考察される。

- 1950年代以前：ダムによる水没問題に対する反対運動が多いが、尾瀬原ダムや小歩危ダムのように、自然環境や名勝を守るための運動も展開される。また水没問題でも、1950年代の半ば頃までは、田子倉ダムのように究極の目標は有利な補償を勝ち取ることに置かれていたが、後半に入ると下笠・松原ダムのようにダム建設の目的そのものに真正面から疑問を投げかける運動も行われるようになる(森滝, 1982)。
- 1960年代：水没問題に対する反対運動がほとんどで、1950年代後半と同様、計画の妥当性や公共性に疑義を呈する運動が多く行われる。

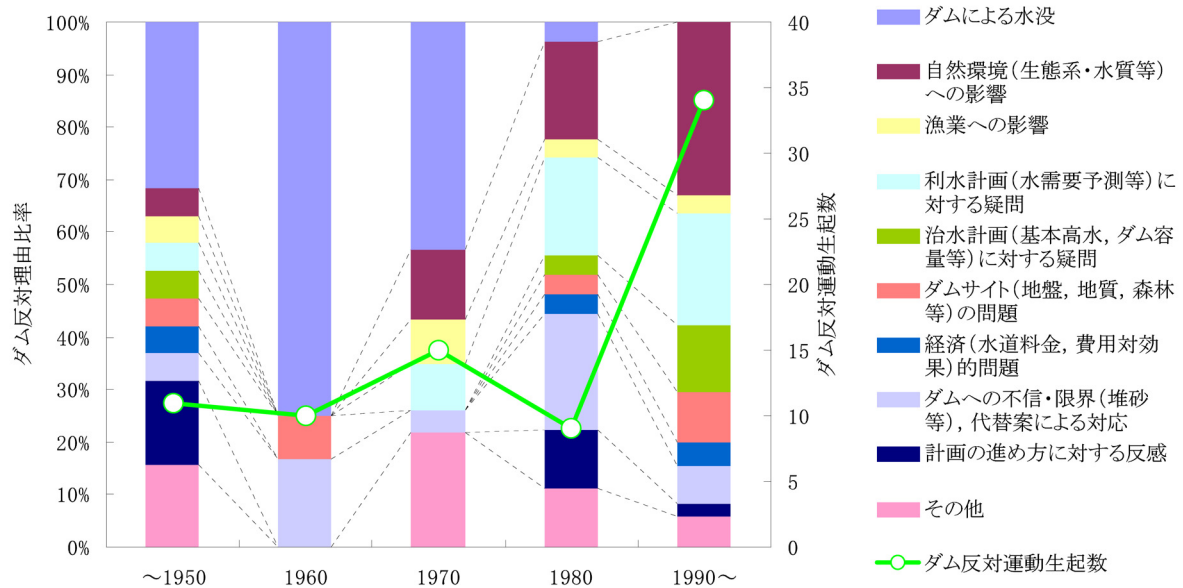


Fig. 2.1: 反対理由の変遷

- 1970年代：これまで同様、水没問題に対する反対運動が多いものの、反対理由は多様化の傾向を見せる。自然環境や漁業、文化、地域生活への影響を懸念するものの他、小川原湖河口堰のように水需要量の予測など計画手法に対する疑問を投げかけるものも現れ始める。
- 1980年代：水没問題に対する反対運動はほとんどなくなり、複数の理由を掲げて反対する運動が数多く展開される。特に自然環境への影響を懸念したものと水需要量予測の過大性を理由としたものが多いという特徴を示している（Fig.1.1を見ても、この年代は高度経済成長期における水需要量の急増が減少あるいは横ばいに転じて落ち着いたところである）。また長良川河口堰に代表されるように、多様なメディアを利用して世論に訴えかけ、多様な主体が運動の担い手となるネットワーク型の運動が登場する（帯谷, 2004）。すなわち、それまでの反対運動は地元の住民あるいは建設により直接的な不利益を被る人々によるものがほとんどであったが、この頃より地元以外の人々が積極的に関与するケースが見られるようになる。
- 1990年代以降：長良川河口堰問題を発端として、全国で反対運動が急増する。また吉野川第十堰や川辺川ダムなどのように、研究者や専門家、文化人などが反対運動に協力し、より技術的な観点から反対運動を展開するケースが多く見られる。特にこれまでの水需要量予測だけでなく、基本高水流量の計算に代表される治水計画に対する疑問を提示するのがこの年代の特徴である。この背景としては、1990年代半ばからのインターネットの爆発的な普及が挙げられる。行政や専門家などから公表されるデータに誰でも簡単にアクセスできるようになったことが技術的視点からの反対運動を急増させ、またデータを公表しないことが「何かを隠しているのではないか」という疑念を持たせるきっかけにもなったと考えられる。

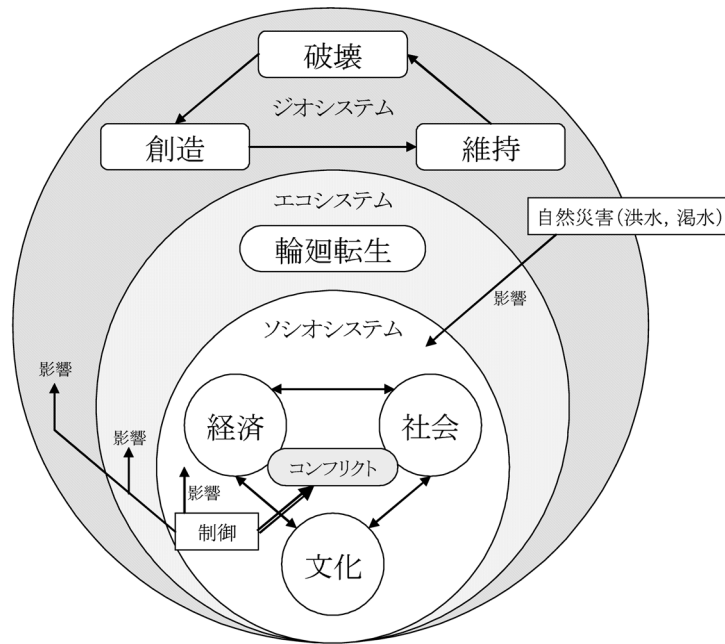


Fig. 2.2: ジオ・エコ・ソシオシステム

2.1.2 反対運動が生じた流域環境の特徴

ジオ・エコ・ソシオシステム

本節では、反対運動が生じた要因を、その流域環境の特徴から考察する。そのためには流域の「環境」の定義が必要であり、以下それについて述べる。

「コンフリクト」という言葉を、前述の通り「何らかの点で違いがある人や組織や社会が緊密に接触するとき、そこにものの考え方や価値観や利害に衝突が生じる（あるいは生じている）状態」（岡田ら、1988）と定義すれば、「河川開発を巡るコンフリクト」とは、「洪水や渇水という自然災害（自然現象に起因する災害）に対して、どこまで人為的に制御するのか、制御する際の自然・生態環境や人間社会への影響をどこまで許容するのか、またそれをどのように予測するのかなどの点で利害関係者間で衝突が生じる（生じている）状態」であり、自然現象、生態系の変化、人間活動が複雑に絡み合ったシステムであると考えることができる。

以上より本研究では、萩原ら（1998）、堤ら（2000）、萩原ら（2006a）の定義と同様、「環境」がジオシステム（地球物理的法則で支配されるシステム）、エコシステム（生態学的法則に支配されるシステム）、ソシオシステム（人間や社会の振る舞いを支配する法則）の3層のシステムから構成されると考える。

以上3つのシステムの関係を Fig.2.2 に示すが、ソシオはエコに、エコはジオに含まれる。ある地域の環境が、相対的にソシオが大きければ小自然の地域であるし、反対に小さければ大自然の地域であるということになる。ジオやエコをソシオが完全に制御する場合には階層構造は逆転し、「疑似自然」となる（萩原ら、1998）。

Table. 2.2: ジオに係る主成分分析の結果

ジオ環境に関する主成分分析		第1主成分	第2主成分	第3主成分
固有値		6.28	3.94	2.33
寄与率		34.9%	21.9%	13.0%
累積寄与率		34.9%	56.8%	69.7%
軸の解釈		流域の大きさ	洪水リスクの大きさ	渇水リスクの小ささ
年平均降水量	mm	-0.109	0.321	0.241
100mm/日の豪雨発生回数	回	-0.152	0.366	-0.079
100mm/日の豪雨発生回数	回/km2	-0.205	0.247	-0.207
50mm/時の豪雨発生回数	回	-0.163	0.353	-0.163
50mm/時の豪雨発生回数	回/km2	-0.166	0.210	-0.236
河川密度	1/km	-0.132	0.142	-0.312
固有流域面積	km2	0.345	0.057	-0.234
固有河川延長	km	0.335	0.096	-0.267
基本高水流量	m3/s	0.245	0.219	-0.200
基本高水流量	m3/s/km2	-0.271	0.203	-0.018
流域内代表観測所における最大流量	m3/s	0.178	0.306	-0.116
流域内代表観測所における最大流量	m3/s/km2	-0.243	0.292	-0.018
流域内代表観測所における渇水流量	m3/s	0.345	0.157	-0.024
流域内代表観測所における渇水流量	m3/s/km2	0.149	0.227	0.411
流域内代表観測所における最小流量	m3/s	0.341	0.145	0.009
流域内代表観測所における最小流量	m3/s/km2	0.136	0.177	0.393
流域内代表観測所における年平均流量	m3/s	0.344	0.188	-0.001
流域内代表観測所における年平均流量	m3/s/km2	-0.030	0.263	0.457

一級水系データの主成分分析

次に流域環境の特徴をジオ、エコ、ソシオの3つの観点から整理する。ここではデータの制約から109の一級水系に関してその環境データを整備し、主成分分析（付録C参照）を用いて各流域の特徴を分析した。データ作成の方法や結果については付録Bに記載するが、ジオについては降水・地形・流量に関わる11指標、エコについては生物・水質に関わる5指標、ソシオについては人口・利水・親水・土地利用・資産・対策に関わる17指標の合計33指標の整備を行った。

整備した一級水系データを元に、ジオ・エコ・ソシオのそれぞれについて主成分分析を行った。なお各データの単位が異なるため、相関行列による主成分分析を行っている。

ジオについては、第3主成分までで累積寄与率が69.7%となった（Table.2.2）。第1主成分について、流域面積や河川延長、平水時や渇水時の河川流量に関して固有ベクトルの値が大きく、「流域の大きさ」に関する軸であると解釈できる。第2主成分について、年平均降水量や豪雨回数、最大流量に関して固有ベクトルの値が大きく、「洪水リスクの大きさ」に関する軸であると解釈できる。第3主成分について、平水時や渇水時の単位面積あたり河川流量に関して固有ベクトルの値が大きく、「渇水リスクの小ささ」に関する軸であると解釈できる。

エコについては、第2主成分までで累積寄与率が73.9%となった（Table.2.3）。第1主成分について、魚類や植物、鳥類の単位面積あたりの出現種数について固有ベクトルの値が大きく、「動植物の豊かさ」に関する軸であると解釈できる。第2主成分について、BOD75%値について固有ベクトルの値が大きく、DO75%値について固有ベクトルの値が小さいため、「水質の悪さ」に関する軸であると解釈できる。

ソシオは、第3主成分までで累積寄与率が59.3%となった（Table.2.4）。第1主成分について、人口や資産に関する固有ベクトルの値が大きく、「人口規模」に関する軸であると解釈できる。第

2 主成分について、市街地や水田の面積率について固有ベクトルの値が大きく、森林の面積率について固有ベクトルの値が小さいため、「人工的土地利用」に関する軸であると解釈できる。第3主成分について、単位面積あたりの河川利用者数や市街地面積率について固有ベクトルの値が大きく、水田面積率について固有ベクトルの値が小さいため、「市街地的利用」に関する軸であると解釈できる。

Table. 2.3: エコに係る主成分分析の結果

エコ環境に関する主成分分析			第1主成分	第2主成分
固有値			2.32	1.38
寄与率			46.3%	27.6%
累積寄与率			46.3%	73.9%
軸の解釈			動植物の豊かさ	水質の悪さ
固有ベクトル	出現種数(魚類)	出現種数/千km ²	0.575	-0.060
	出現種数(植物)	出現種数/千km ²	0.564	-0.195
	出現種数(鳥類)	出現種数/千km ²	0.541	-0.144
	流域内代表観測所におけるBOD75%	mg/L	0.117	0.707
	流域内代表観測所におけるDO75%	mg/L	-0.211	-0.661

Table. 2.4: ソシオに係る主成分分析の結果

ソシオ環境に関する主成分分析			第1主成分	第2主成分	第3主成分
固有値			8.92	1.94	1.59
寄与率			42.5%	9.2%	7.6%
累積寄与率			42.5%	51.7%	59.3%
軸の解釈			人口規模	人工的土地利用	市街地的利用
固有ベクトル	人口	人	0.327	0.019	0.094
	氾濫区域内人口	人	0.321	0.023	0.118
	上水道取水量	m ³ /s	0.298	-0.126	0.018
	鉱工業用水取水量	m ³ /s	0.211	-0.176	-0.232
	灌漑用水取水量	m ³ /s	0.254	0.019	0.169
	発電取水量	m ³ /s	0.110	-0.288	-0.104
	河川年間利用者数	人	0.308	0.012	0.199
	河川年間利用者数	人/調査対象ha	0.015	0.207	0.366
	森林面積率	%	-0.125	-0.561	0.150
	市街地面積率	%	0.122	0.422	0.305
	水田面積率	%	0.054	0.337	-0.537
	想定氾濫区域面積	km ²	0.266	-0.080	-0.189
	流域内一般資産額	百万円	0.325	0.013	0.118
	流域内一般資産額	百万円/人	-0.013	-0.346	0.233
	氾濫区域内一般資産額	百万円	0.300	0.046	0.108
	氾濫区域内一般資産額	百万円/氾濫人	0.044	0.019	-0.117
	洪水被害額	百万円	0.289	-0.024	-0.078
	洪水被害額	百万円/氾濫人	-0.062	-0.167	0.086
	堤防整備率(完成)	%	-0.093	-0.044	0.284
	ダム総貯水容量(建設中含む)	千m ³	0.271	-0.173	-0.153
	ダム総貯水容量(建設中含む)	千m ³ /km ²	0.120	-0.172	-0.243

反対運動が生じた流域の特徴

以上のデータから、ダム・堰建設反対運動が起こる流域環境の特徴の分析を行う。2.1.1で整備したダム・堰建設反対運動データのうち一級水系に該当するものをFig.2.3に示す。この中で居住地の水没のみが理由で生じる反対運動は、ダムサイトとして適した地域に集落が存在していたためであり、流域環境の特徴との関連性はあまり見られないと考えられる。ここでは流域を一つのユニットとして考えたときの流域環境の特徴と反対運動の関連性について分析することが目的であるため、ダムによる居住地の水没を唯一の理由とする反対運動を除いた合計52の反対運動について分析を行った。

各水系の主成分得点の散布図に、ダム・堰建設反対運動のあった水系（反対あり）、それらがなかった水系（反対なし）を示したものをFig.2.4～Fig.2.7に示す。図中の数値はFig.2.3や付録Bに示す水系番号である。これより、ダム・堰建設反対運動が起きる水系の特徴としては、以下のことが言える。

ジオについては、第1主成分の主成分得点が高いほど反対運動の生じる比率が高く、第2主成分や第3主成分については相関が見られない。つまり、流域の大きさが大きいほど反対運動が生じやすく、洪水や渇水リスクとは無関係に反対運動が生じるという特徴が挙げられる。洪水・渇水リスクが小さいために建設反対運動が生じるケースは理解しやすいが、洪水・渇水リスクが大きいにもかかわらず反対運動が生じていないケースについては、近年たまたま洪水・渇水被害がないためにそれらに対する危機意識の少なくなっている可能性が示唆される。

エコについては、第1主成分の主成分得点が高いほど反対運動の生じる比率が高いが、低くても反対運動の生じるケースがある。第2主成分の主成分得点が低いほど反対運動の生じる比率が高い。つまり、動植物が非常に豊かだと反対運動が生じるが、豊かでなくても生じるケースがあり、また水質の良い方が反対運動が生じやすいという特徴が挙げられる。人々が川の良さを、動植物の存在よりも水質のように見た目に分かりやすい指標で捉える傾向にあることが分かり、また川に関して特別に詳しくはない人が反対運動に関与していることが考えられる。

ソシオについては、第1主成分の主成分得点が高いほど反対運動の生じる比率が高いが、低くても反対運動の生じるケースがある。第2主成分の主成分得点は中程度からやや低いあたりで反対運動の生じる比率が高い。第3主成分の主成分得点は中程度から低いところで反対運動の生じる比率が高い。つまり、人口規模が大きいほど反対運動が生じやすいが、小さくても生じるケースがある。また土地利用は自然と人工の中間程度か、やや自然的なところで反対運動が生じやすく、市街地的利用があまり行われていないほど反対運動が生じやすいという特徴が挙げられる。親水整備の充実した都市河川のようなところでは、川を利用していても川に対する保全意識は比較的小さいことが示唆される。

ところで2.1でも述べたように、近年の反対運動は地元以外の人々が積極的に関与するものも多く、必ずしも水系の特徴のみから反対運動の生じやすさについて論じることはできない。しかしながら地元以外の人々も、流域の自然環境の良さに惹かれて反対運動に加わったり、建設事業の社会的な影響の大きさからよく報道がなされ、それがきっかけで認知したりすることを考えると、上記のように反対運動が生じやすい流域環境の特徴について整理しておくことは重要であると考えられる。

流域別ダム・堰反対運動数

水系番号	水系名	反対運動のあったダム・堰名	
1	天塩川	サンルダム	
7	石狩川	当別ダム	
10	鶴川	赤岩ダム	
11	沙流川	二風谷ダム	平取ダム
15	高瀬川	小川原湖河口堰	
17	北上川	長沼ダム	築川ダム
22	雄物川	成瀬ダム	
24	最上川	最上小国川ダム	
27	那珂川	緒川ダム	
28	利根川	蘭原ダム	南摩ダム 沼田ダム
		東大井川ダム	ハッ場ダム
29	荒川	滝沢ダム	
32	相模川	相模大堰	宮ヶ瀬ダム
34	阿賀野川	尾瀬原ダム	田子倉ダム
35	信濃川	浅川ダム	大仏ダム 清津川ダム
		千曲川上流ダム	
38	黒部川	宇奈月ダム	
41	庄川	御母衣ダム	
48	大井川	長島ダム	
50	天竜川	下諏訪ダム	蓼科ダム
51	豊川	設楽ダム	
52	矢作川	矢作川河口堰	
54	木曽川	板取ダム	金居原上部ダム 木曽中央下部ダム
		木曽中央上部ダム	徳山ダム 長良川河口堰
60	淀川	安威川ダム	永源寺第二ダム 金居原下部ダム
		鴨川ダム	川上ダム 日吉ダム
65	紀の川	大滝ダム	紀伊丹生川ダム
67	九頭竜川	足羽川ダム	
73	江の川	灰塚ダム	
75	吉井川	苦田ダム	
79	太田川	関川ダム	温井ダム
82	吉野川	小歩危ダム	早明浦ダム 吉野川可動堰
83	那賀川	細川内ダム	
86	肱川	山島坂ダム	
89	四万十川	家地川ダム(佐賀取水堰)	
92	筑後川	下釜ダム	城原川ダム 松原ダム
93	矢部川	日向神ダム	真名子ダム
98	菊池川	竜門ダム	
101	球磨川	五木ダム	
103	大野川	矢田ダム	川辺川ダム

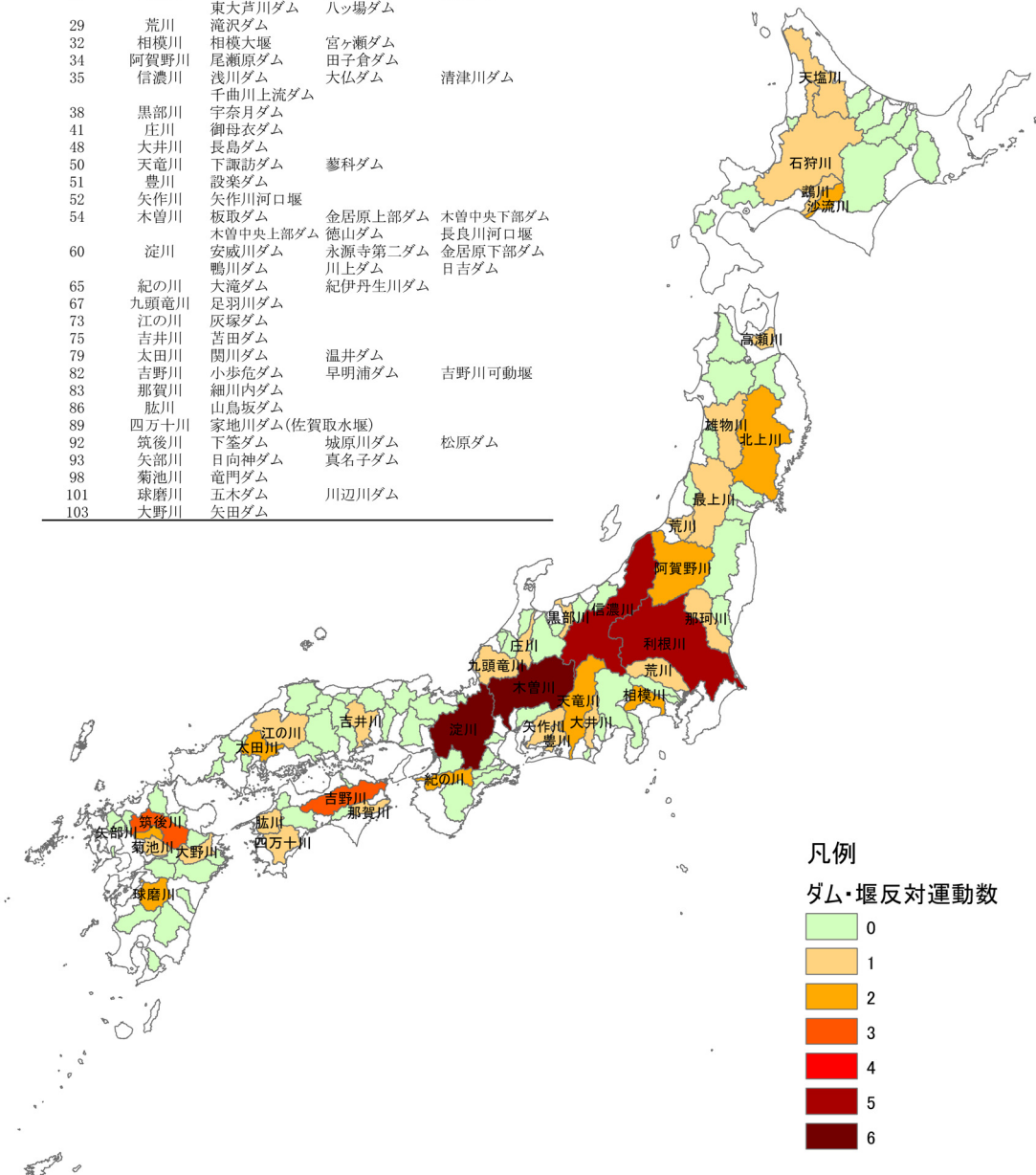


Fig. 2.3: 流域別ダム・堰反対運動

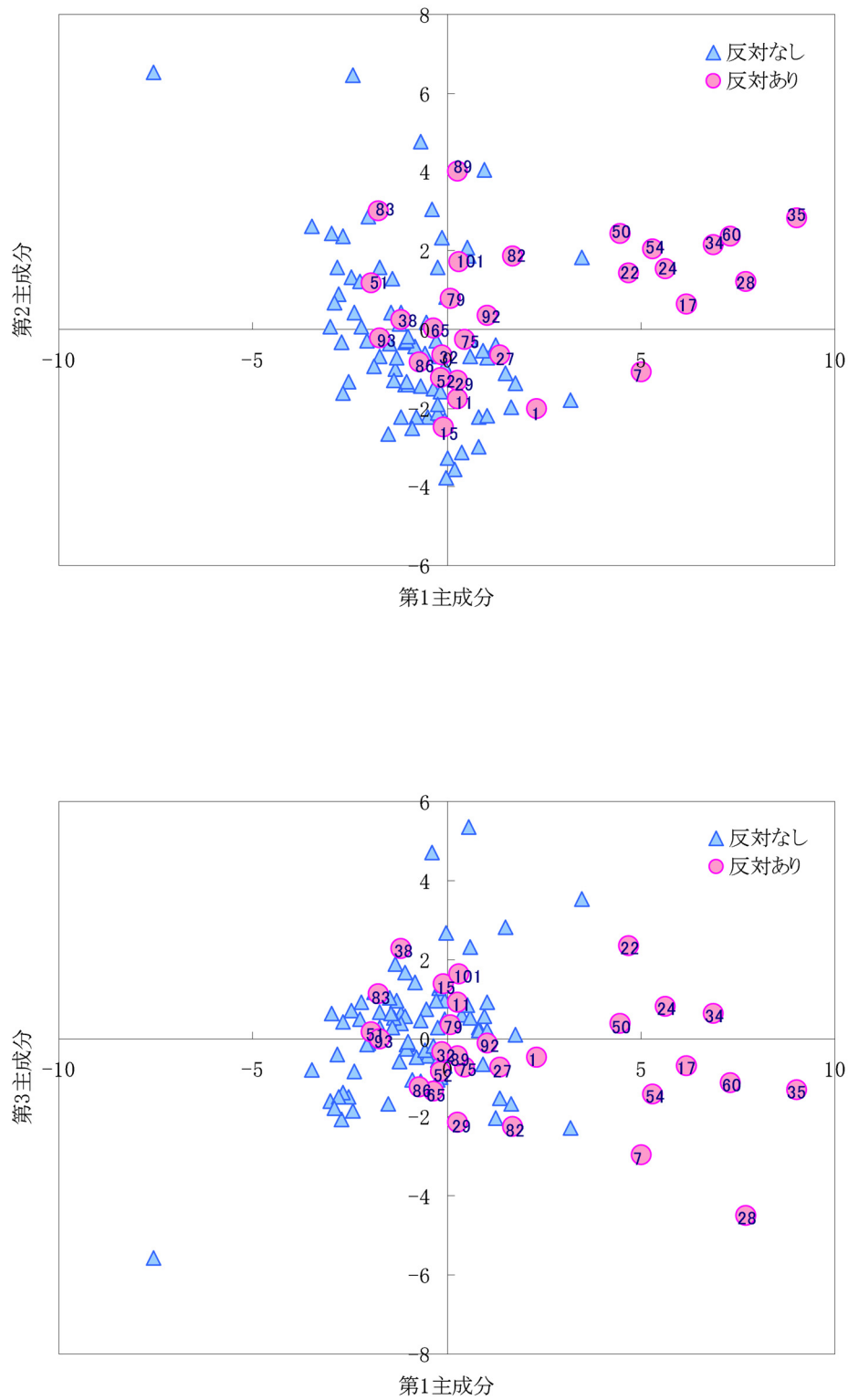


Fig. 2.4: 主成分分析による水系の分類（ジオ環境；図中の数値は水系番号）

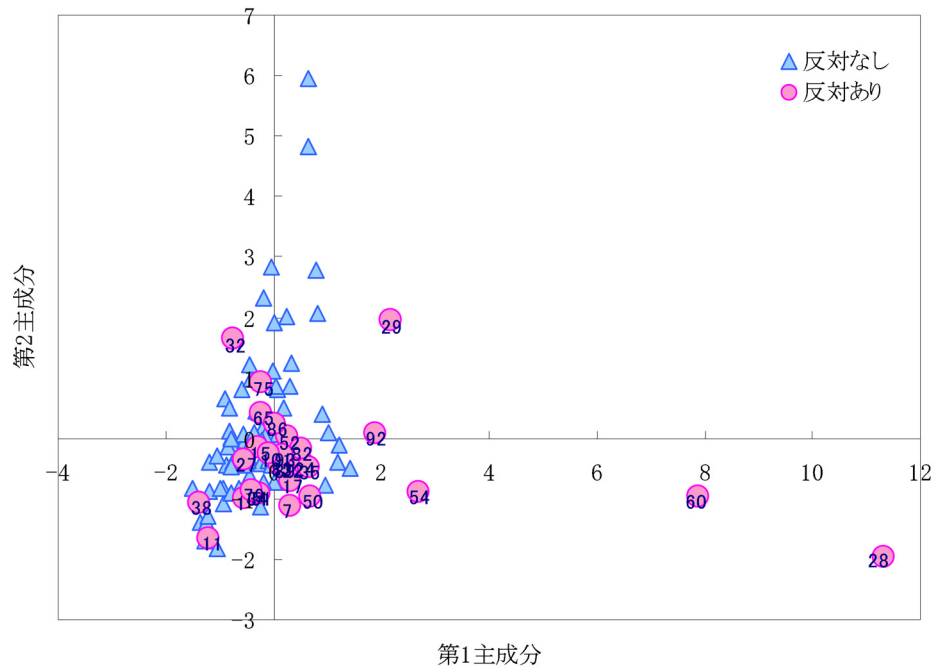
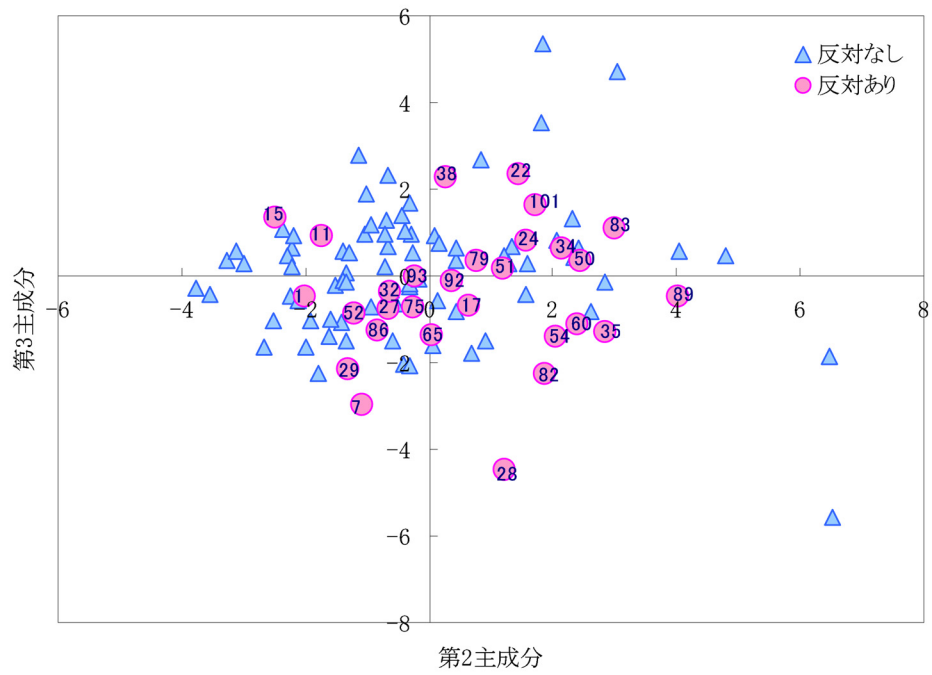


Fig. 2.5: 主成分分析による水系の分類（上図：ジオ環境，下図：エコ環境；図中の数値は水系番号）

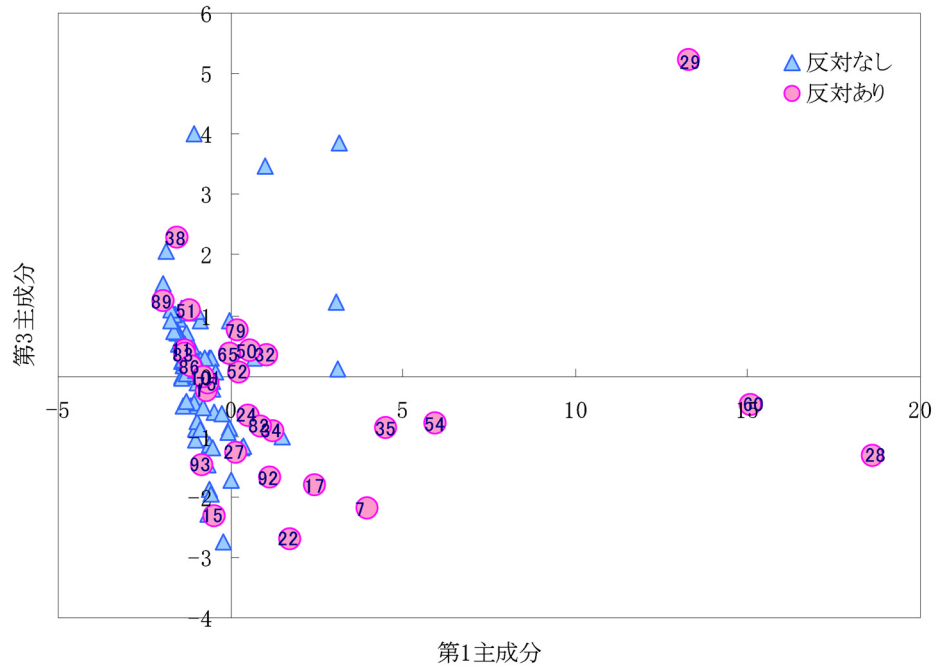
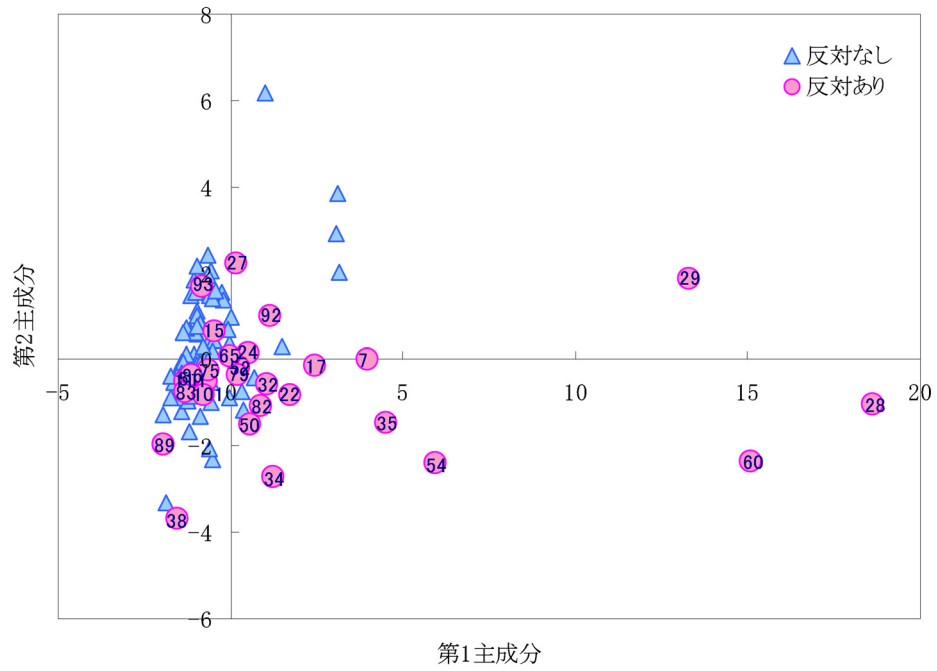


Fig. 2.6: 主成分分析による水系の分類（ソシオ環境；図中の数値は水系番号）

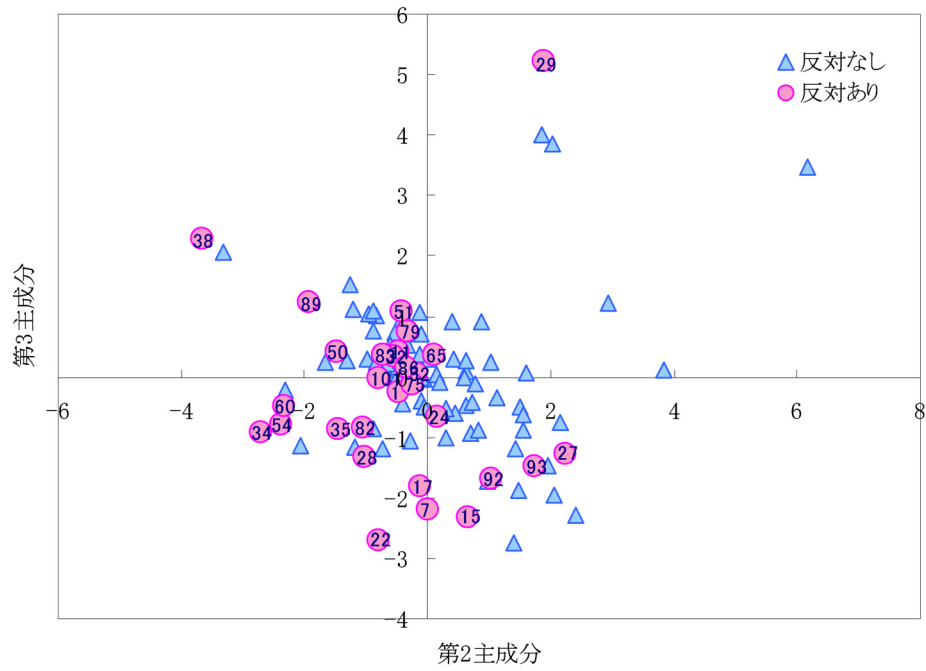


Fig. 2.7: 主成分分析による水系の分類（ソシオ環境；図中の数値は水系番号）

2.1.3 事例分析

2.1.1, 2.1.2により, ダム・堰建設反対運動の生起理由やその時系列的変化, またダムによる居住地域の水没を除く反対運動の生じやすい流域環境の特徴が明らかになった. これらの結果から, 過去に生じた反対運動のうち, 長期に渡りかつ特に大きい社会問題となったものを含む流域について事例分析を行う.

なお以下では, 1.2.2で抽出された複数の主成分の軸を統一的に評価するために, 0~1の範囲に基準化された主成分得点を用いる. 基準化された主成分得点 x_i^* は, 水系 i のある主成分 x の主成分得点を x_i , x_i の最大値と最小値をそれぞれ x_{\max} , x_{\min} としたとき,

$$x_i^* = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2.1)$$

で表される.

吉野川流域

吉野川流域ではこれまで小歩危ダム, 早明浦ダム, 吉野川可動堰を巡り建設反対運動が生じている. 中でも吉野川可動堰建設を巡っては, 水の滞留による水質・生態系への影響, 治水・利水両面での必要性が乏しいこと, 堤防強化による対応が可能なこと, 計画の進め方に対する反感などの理由から強い反対運動が起き, 市や県, 専門家らのバックアップを得て組織的かつ理論的な反対運動が展開された.

吉野川流域のジオ・エコ・ソシオに関わる基準化された主成分得点を全国の平均値と比較したのが, Fig.2.8である. ジオ・エコ・ソシオの各主成分得点のいずれもが2.1.2でまとめたダム・堰建設反対運動の生じやすい特徴を有している. さらに洪水や渇水の点からも相対的にリスクの高い水系であり, ダム・堰建設を推し進める主体の存在も示唆される. すなわち, 全国的に見てもダム・堰建設の反対派と推進派でコンフリクトを生じやすい流域であると考えられる.

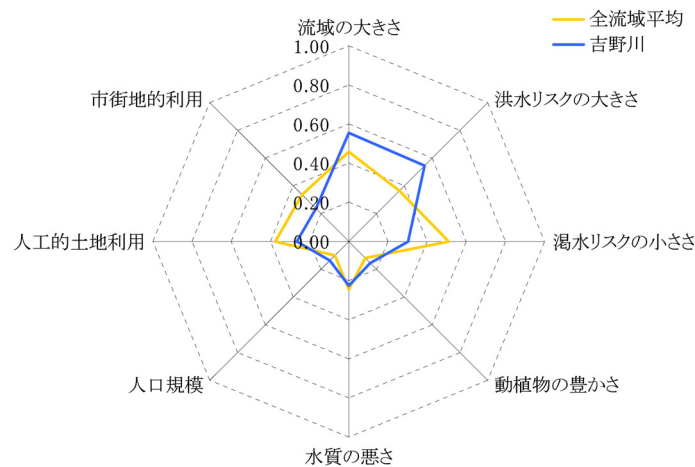


Fig. 2.8: 吉野川流域の特徴

球磨川流域

球磨川流域では五木ダムや川辺川ダムの建設を巡り激しい反対運動が生じている。川辺川ダムについて、1960年代に計画が発表された当初は水没を巡る反対運動が生じたが、それが和解し、1980年代まではほとんどの市町村がダム建設促進の立場を取った。しかし1990年代に入り、市民の環境意識の高まりや他流域とのネットワークの構築、マスコミによるダム建設に対する疑問提示などから、人吉市をはじめとしてダム反対運動が急速に広がっていった。川辺川ダムは治水と利水、発電を目的とした多目的ダムであったが、2007年、農家による反対運動から農水省が利水事業計画から撤退している。

球磨川流域のジオ・エコ・ソシオに関わる基準化された主成分得点を全国の平均値と比較したのが、Fig.2.9である。洪水リスクの大きいこと、渇水リスクの小さいこと、人工的な土地利用の少ないことが特徴として挙げられ、治水を一つの目的とするダム建設に対して促進の立場を取る市町村の多いこと、利水事業からの撤退が決まったこと、自然環境への影響などから反対運動の生じたことなどと一致する。

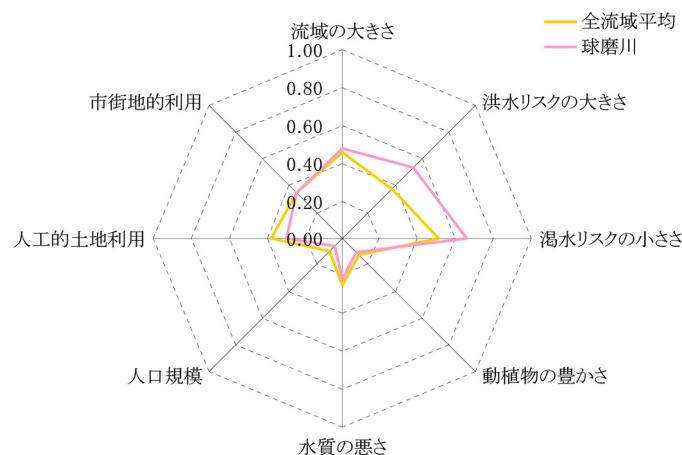


Fig. 2.9: 球磨川流域の特徴

木曽川流域

木曽川流域ではこれまで板取ダム、金居原上部ダム、木曽中央下部ダム、木曽中央上部ダム、徳山ダム、長良川河口堰の建設を巡り反対運動が生じている。特に長良川河口堰建設反対運動は近年に見られるダム・堰反対運動の先駆けともなったものである。1960年代に利水と治水を目的とした河口堰建設計画が発表された直後は漁協による反対運動と補償交渉が中心であったが、1980年代後半に都市部のライターらが中心となり、マス・メディアを用いた戦略により世論を喚起し、自然保護団体らも巻き込んで大きな反対運動へと発展した(帯谷, 2004)。

木曽川流域のジオ・エコ・ソシオに関わる基準化された主成分得点を全国の平均値と比較したのが、Fig.2.10である。洪水リスクや渇水リスクが大きく、また動植物の豊かさや水質の良さ、自

然的土地利用の多さから、ダム・堰建設と自然環境保全を巡り非常にコンフリクトを生じやすい特徴を有した流域である。

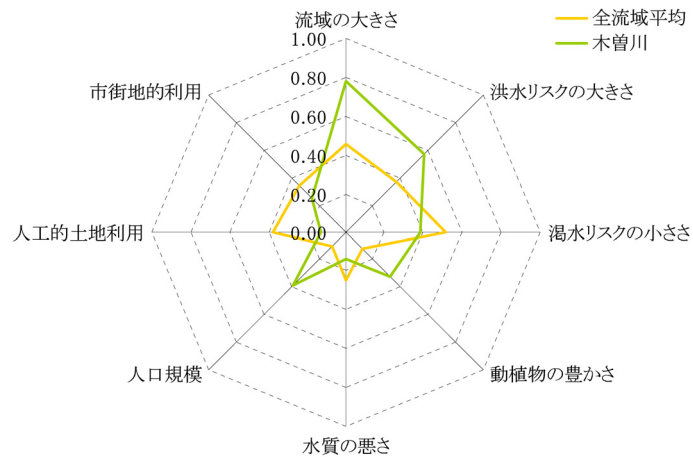


Fig. 2.10: 木曽川流域の特徴

沙流川流域

沙流川流域ではこれまで二風谷ダム、平取ダムの建設を巡り反対運動が生じている。二風谷ダムは多目的ダムとして計画が進められたが、その必要性に対する疑問だけではなく、建設予定地の谷がアイヌの人びとにとって、かけがえのない宗教儀礼の場であることが大きな問題となった。しかしそのことはついに考慮されず、ダムは建設された(桑子, 2003)。

沙流川流域のジオ・エコ・ソシオに関わる基準化された主成分得点を全国の平均値と比較したのが、Fig.2.11 である。洪水リスクや渇水リスクは小さく、水質が非常に良いため、河川開発の相対的な必要性は見だしにくい。さらに重要な点は、この流域がアイヌ民族にとって神聖な空間であることはこうしたデータからは読み取れないことである。桑子 (2003) は、空間の履歴と場にかかわるコミュニケーションの技術によってのみ見えないものを見えるようにすることができ、聞こえないもの聞こえるようにできると述べており、この事例からは住民意識の把握と合意形成のプロセスの重要性が示唆される。

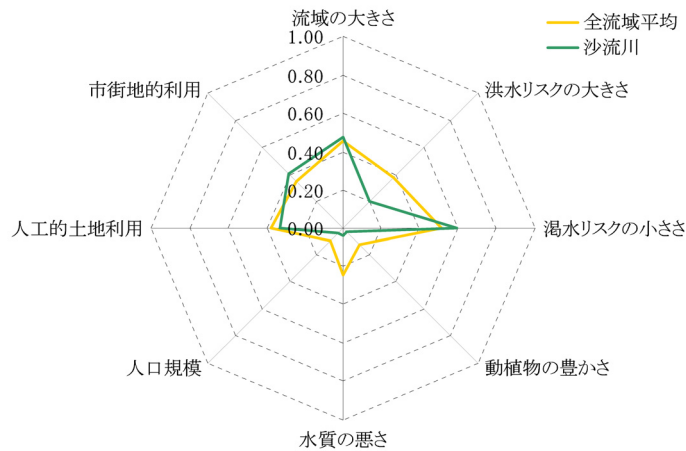


Fig. 2.11: 沙流川流域の特徴

2.2 コンフリクトと合意形成に関する既往研究

日本ではダムや堰に限らず、これまで多くの社会資本整備に関して、その是非を巡りコンフリクトが繰り返されてきた。またこの問題を扱う研究も様々な観点からなされてきたが、それは大きく以下の3つに分類される。

(1) 態度形成過程に関する研究

この研究は、態度形成過程をゲーム理論などを用いたモデルで分析する研究と、心理実験により態度形成に寄与する要因を明らかにする研究の大きく2種類に分けられる。

前者について、例えば坂本ら(2005a)は、行動決定モデルとコンフリクト解析を用いてコンフリクトの時間的な変遷とその要因を分析した。羽鳥ら(2006)は、信頼ゲームを用いて社会基盤整備における国民と行政との間の信頼形成の分析を行った。

後者について、例えば青木ら(2005)はインターネットを用いたシナリオ実験により、情報開示の内容などが市民の態度形成にもたらす影響のメカニズムを検討した。青木ら(2006)は私的利益、手続き的公正、同調圧力を操作した心理実験により集団状況における協力意向の形成機構を検討した。藤井(2005a)は公共事業の合意形成問題における公共受容の問題を考えるために、受容意識に関わる因果関係と信頼の醸成に関する仮説を措定し、それを検証するための実験を行った。

(2) 代替案の評価に関する研究

代替案の評価に関しては多種多様な研究が行われてきたが、これも大きく分けると、環境経済評価の枠組みを用いた研究、多属性意思決定(第3章で詳述)の枠組みを用いた研究

に大別できる。

前者については、直接支出法、旅行費用法、ヘドニック価格法、CVM（仮想市場評価法）、コンジョイント分析、離散選択分析、応用一般均衡分析などが考案され、様々な社会資本整備の評価に用いられてきた（大野，2000）。これらはまた、アンケートによって個人の選好を直接的に尋ねる表明選好（Stated Preference:SP）法と、個人の行動結果から選好を分析する顕示選好（Revealed Preference:RP）法に大別される。実際の分析にあたっては利害関係者による戦略的操作が行われにくいRPデータに基づいた計測を行うことが志向されるが、口頭で表明されたSPデータに基づいた評価手法であっても、RPデータに基づく評価手法などとの比較作業を通じて、その信頼性を確認する試みが行われている（例えば、清水ら，2000）（福本，2002）。

後者の研究も適用例が多く、例えば森下ら（2005）や土井ら（2006）は、QoL（Quality of Life）概念に基づき、市民同士の立場の違いや価値観の違いを考慮した整備方策の多面的評価手法について提案している。日本では、人間の直感を数量的に転換する手法としてAHP（Analytical Hierarchy Process）が多く用いられているが（堀江ら，2004）、これを改良してより合意形成に結びつける手法の開発も行われている（例えば、高野ら，2002）。その他、多属性効用分析を用いた政策代替案の評価も行われている（例えば、林田ら，2006）。

しかし、これらの研究と公共政策との関連性について、藤井（2005b）は公共政策を考える上で重要な概念である「習慣」「意図」「倫理フレーム／取引的フレーム」「公正」「信頼」といった諸概念が意思決定研究の中で十分に検討されていないことを指摘している。

（3）合意形成のプロセス・手法に関する研究

社会資本整備を巡るコンフリクトと合意形成を考えると、この研究は最も直接的なアプローチであると考えられるが、これも大きく分けると、合意形成の手続きに関する研究、コミュニケーションの方法に関する研究、ゲーム理論などのモデルによる合意形成プロセスの理解に関する研究、の3つに大別できる。

について、実践的なものを中心として多くの研究がなされているが、概して日本よりも海外における取り組みの方が進んでいる。例えばTyler（1987）は合意形成手続きの参加者に発言の機会が保証されており、決定プロセスに参加できることの重要性を述べている。より具体的な例として、McCreary et al.（2001）は、利害のない専門家の助けを借りて科学的な事実を確認するJoint Fact Findingのプロセスについて詳細な方法論を提案している。桐山ら（2001）はアメリカやイギリスのPublic InvolvementやAssisted Negotiationの手法についてレビューを行っている。その他、福野（2005）は紛争当事者の利害関心に関する一般市民の認知が公共事業における紛争解決手続きの選好に与える効果について検討し、柴田ら（2006）は国内の事例を基にコンフリクトを予防・回避するための計画プロセスを巡る手続き的信頼性について検討を行っている。

についても実践的なものを中心として多くの研究がなされているが、例えば桑子（2005）は、空間と人間の関係を表す「身体の配置」と「空間の履歴」という二つの概念が創造的な感性コミュニケーションには必要であることを述べている。足立（2002）は長良川河口堰問題のディスコミュニケーションがどのようにして生じたのかを分析している。

について、例えばSakamoto et al.（2005）、坂本ら（2005b）、坂本ら（2005c）は、コンフリクト解析を用いて第三者機関（Donor, Coordinator, Arbiter）の役割の記述と考察を行っている。

榊原ら (2005) は、事業者や関係自治体、環境保護団体などの主体と市民の間の意見集約メカニズムのあり方について、定常ゲームを用いた解析を行っている。二宮 (2006) は、合意形成プロセスに内包する問題とその発生メカニズムの分析を目的として、ドラマ理論を援用したモデルを提案している。

2.3 コンフリクト研究のフレームワーク

河川開発と環境保全のコンフリクトは、一般に河川開発計画を契機として生じる。したがって住民の合意形成の基で計画の意思決定を行うためには、河川開発計画の立案から意思決定の段階までの手順を合理的に進めていく必要がある。

この方法論として、システムズ・アナリシスと呼ばれる体系がある。システムズ・アナリシスは、例えば「複雑な問題を解決するために意思決定者の目的を的確に定義し、代替案を体系的に比較評価し、もし必要とあれば新しく代替案を開発することによって、意思決定者が最善の代替案を選択するための助けとなるように設計された体系的な方法である」と定義される (吉川, 1975)。システムズ・アナリシスの一連のプロセスは、一般に「問題の明確化」「調査」「分析」「代替案の設計」「評価」の段階と、意思決定できなかった場合に再び「問題の明確化」の場面に戻る循環プロセスによって構成され、意思決定そのものは含まない。意思決定を支援する問題解決のプロセスの合理化を目的としているのである (萩原ら, 2006a)。

いまこのシステムズ・アナリシスの枠組みを基本として、河川開発と環境保全のコンフリクト存在下における代替案の評価と合意形成のフレームワークを示したものが、Fig.2.12 である。このフレームワークの中で、意思決定を支援するシステムは以下の3つのレイヤー（階層）に分けられる。

1. 合意形成・意思決定レイヤー
2. 代替案予測・評価レイヤー
3. モデル分析レイヤー

合意形成・意思決定レイヤー

「合意形成レイヤー」は問題の明確化から代替案の設計・予測・評価、合意形成までの意思決定支援システム全体と、意思決定へのフローを表すレイヤーである（ただし、意思決定そのものは計画の対象領域には含まない）。

問題の明確化の段階では、例えば KJ 法や ISM 法によりコンフリクトや問題の構造化を行う。調査の段階では、文献調査や社会調査、環境調査等により、対象地域の過去から現在に渡る実態把握を行う。分析の段階では、問題の明確化や調査で得られた知見を基に、現象の因果関係を表現可能なモデルを構築する。代替案の設計の段階では、問題となっているリスクやコンフリクトを最小化するための複数の代替案の設計を行う。予測の段階では、代替案の環境条件をモデルに入力し、どのような環境変化が生じるのか予測する。評価の段階では、環境の変化がどの程度の

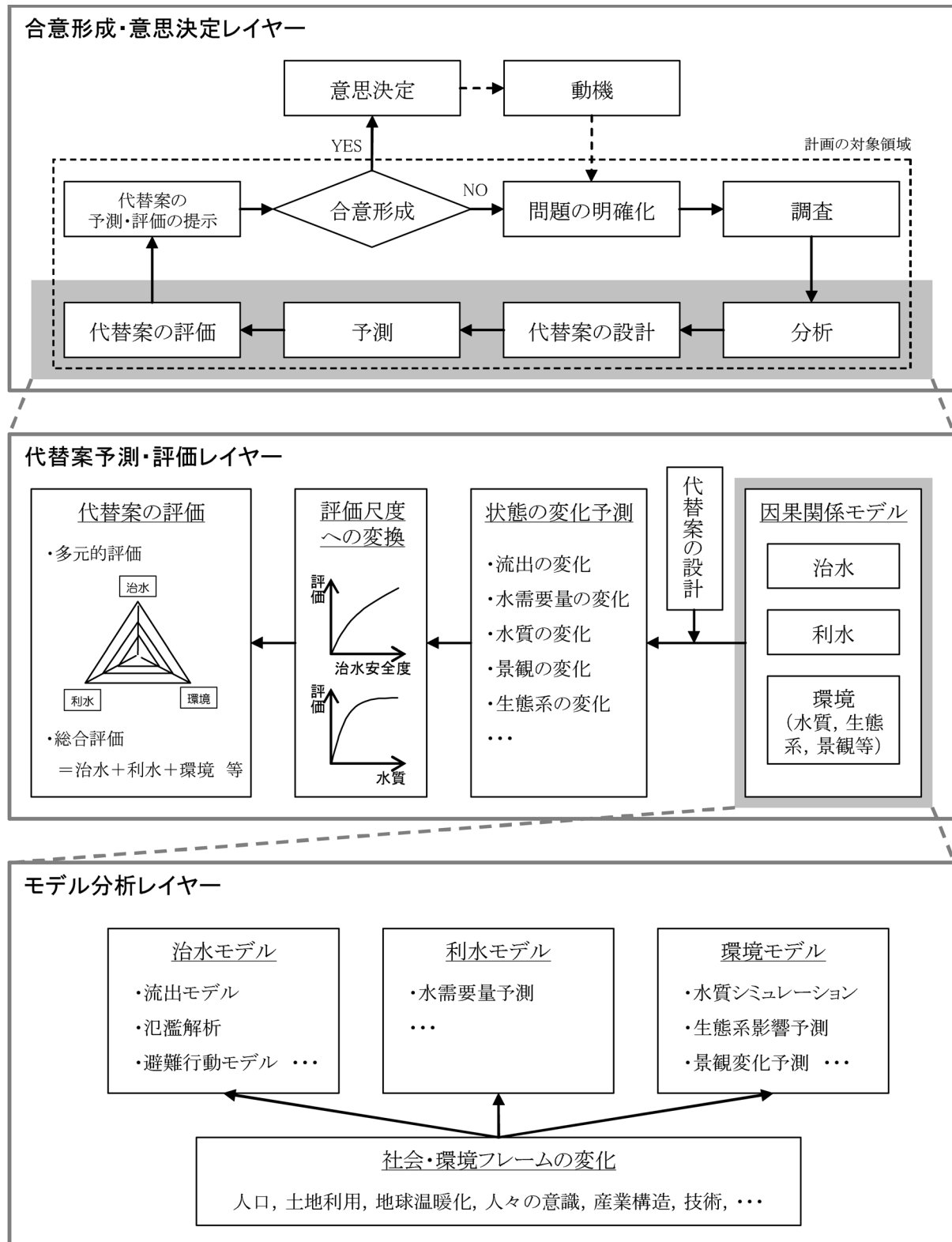


Fig. 2.12: 代替案の評価と合意形成のフレームワーク

効用・不効用をもたらすのかを定量的に評価する。最後にこれらの結果をステイクホルダーに提示し、合意形成を図る。

以上のプロセスにおいて、住民参加は様々な局面で可能である。例えば、問題の明確化では地域住民（住民票のある人）だけでなくその地域に住んでいないが働きに来る人等も含めて（これらの総称を「生活者」と呼ぶ）参加して問題を列挙してもらうことで、より現実的で意味のある問題の明確化が可能となる（萩原ら, 2006a）。調査では社会調査の対象としてアンケートやヒアリングに協力してもらうことが可能であるし、代替案の設計は地元のニーズや問題などを十分踏まえて行うことが必要である。分析や代替案の予測については専門的で住民参加は困難であるが、代替案の評価では科学的に導かれる環境の変化予測が住民にとってどの程度の効用・不効用として認識されるかを評価するため、住民の関与が望まれる。合意形成の場面ではもちろん住民参加が不可欠である。

代替案予測・評価レイヤー

「代替案予測・評価レイヤー」は、合意形成・意思決定レイヤーのうち分析から代替案の評価までの段階について詳述したものである。

まず、治水や利水、環境といった対象地域の問題に関連する事象について、因果関係をモデル化する。次に代替案を設計し、その代替案を実施したときに治水や利水、環境の状態がどのように変化するかを、モデルを用いて予測する。

通常のアセスメントではここまでの予測を実施するが、それが地域にどの程度の効用・不効用をもたらすのかを明らかにすれば、結果をより合意形成や意思決定に活用しやすくなる。例えば治水安全度を大幅に上げる対策を実施したときに河川の水質が BOD4mg/L から 5mg/L に悪化すると予測されるとき、この 4 から 5 の変化が大きな問題でなければ計画を実施すべきであるし、重大な問題であれば計画を再考すべきであろう。また同じ 1mg/L の悪化でも、1 から 2 に悪化することと、9 から 10 に悪化することでは大きく意味が異なる。そのため状態の変化がもたらす効用・不効用を、評価尺度として変換することが必要となる。

また評価尺度として状態の変化を表せば、代替案の多元的評価を行え、また適当な集約化を行うことで代替案の総合評価も可能となる。

モデル分析レイヤー

「モデル分析レイヤー」は、代替案予測・評価レイヤーのうち因果関係のモデル化部分を詳述したものである。ここでは代替案による治水、利水、環境の状況の変化を予測するためのモデルを構築する。

治水に関するモデルでは流出モデル、氾濫解析などが、利水に関するモデルでは水需要量予測モデルなどが、環境に関するモデルでは水質シミュレーション、生態系影響予測などが含まれる。これらのモデル構築にあたっては、

1. 問題の明確化で明らかになった分析対象を簡潔に捉えること
2. 代替案による変化を表現できること

3. モデル間で精度に大きな差がなく、整合性が取れていること

に注意する必要がある。2. については、多様な予測を行うために、社会・環境フレームの変化を考慮できるモデルであることが望ましい。

研究の位置づけ

2.1 では、まず反対理由の変遷について、1990 年代以降、治水計画や利水計画に対する疑問や、自然環境への影響への危惧などについて、より技術的な観点から反対運動が生起してきていることを明らかにした。また反対運動が生起した流域の特徴としては、洪水・渇水リスクとは無関係に反対運動が生じていること、動植物が豊かで水質が良いほど反対運動が生じやすいこと、人工的に整備された流域よりも人工的なものと自然的なものが共に存在するような流域で反対運動が生じやすいことなどを明らかにした。以上より、人々の認識の変化と流域環境の状況がコンフリクトと密接な関係にあることが理解される。

また長良川河口堰問題、吉野川可動堰問題、川辺川ダム建設問題のように、影響圏が広範で様々なステイクホルダーが存在する場合には、住民間で鋭いコンフリクトが生じ意思決定に多大な困難が伴っている。これより、治水や利水、生態系、水質、親水性など、河川開発がもたらす多様な側面への影響を評価し、多様な主体がお互いの認識を共有して合意形成に至れるような技術情報の提供を行うことが、無益なコンフリクトを建設的な議論に結びつけるために必要と考えられる。しかし 2.2 でレビューした既往研究の中には、そうした検討を行ったものはほとんど見あたらない。

そこで本研究では、上記 3 つのレイヤーのうち、特に代替案予測・評価レイヤーについてその方法論の開発を行い、これを実際の事例における合意形成・意思決定レイヤー（問題の明確化から代替案の予測・評価の提示まで）のプロセスに適用する。

第3章 代替案の評価に関する既往研究

3.1 多属性意思決定手法のレビュー

世の中は無数の要因が複雑に絡み合ったシステムの上に成り立っており、そこで何か一つの行動を起こそうとするときに、ある側面から見ればこれが良く、別の側面から見ればあれが良いといったような問題に直面することがしばしばある。そのため、複数の目的のいずれをも最大限に達成しようとする社会的要請（しかも通常それらは互いにトレード・オフの関係にある）がある場合に、それらの目的によって特徴付けられる利用可能な代替案の中から選好決定を行う手法の開発が進められてきた。

こうした手法やそれに基づく意思決定の総称として、「多基準分析」や「多属性意思決定」、「多目的意思決定」など複数の言葉が用いられ、また手法が分類されてきたが、紹介のされ方が様々である。本研究ではその中でも本研究の目的から見て理解しやすいと考えられる Yoon (1995) の分類にしたがい、以下のように定義する。

多属性意思決定 (Multiple Attribute Decision Making : MADM) :

多数の、そして通常競合する属性によって特徴付けられる利用可能な代替案の中から選好決定（例えば評価、順序づけ、選択）を行うこと

多目的意思決定 (Multiple Objective Decision Making : MODM) :

競合関係にある一連の目的が与えられたとき、制約条件の下で最良の代替案を描くこと

多基準意思決定 (Multiple Criteria Decision Making : MCDM) :

多属性意思決定 (MADM) と多目的意思決定 (MODM) の総称

つまり、多属性意思決定は有限の代替案の中から最良のものを選ぶことであるのに対し、多目的意思決定は最良の代替案を描くことであり、両者は目的が異なる。

ところで河川開発と環境保全のコンフリクトという問題に限って言えば、ダム建設や堤防補強、遊水池、現状維持など複数だが有限の代替案を巡ってコンフリクトの生じているケースが多い。代替案について合意された後、堤防の高さやダムの貯留容量など、連続的な数量に関してコンフリクトの生じることも理論的にはあり得るが、本研究で対象とするコンフリクトの問題（第1章参照）とは異なる。したがって本章では、有限の代替案の中から最良のものを選ぶことを目的とした多属性意思決定を対象とし、その手法のレビューを行う (Keeney, 1972; Keeney et al., 1975; Hwang et al., 1981; 志水, 1982; 瀬尾, 1984; ネイカンプ, 1985; ネイカンプら, 1989; Yoon, 1995; 石谷ら, 1997; 田村ら, 1997; 依田, 1998; 佐伯, 1998; 堀江ら, 2004)。

Table. 3.1: 各代替案の目的関数の値

	目的 $\Omega_1(\omega_1)$	目的 $\Omega_2(\omega_2)$...	目的 $\Omega_m(\omega_m)$
代替案 A_1	ω_{11}	ω_{12}		
代替案 A_2	ω_{21}	ω_{22}		
\vdots			\ddots	
代替案 A_n				ω_{nm}

本章では、多属性意思決定に当てはまる各手法をその特徴から以下の7つのカテゴリーに分類した（複数のカテゴリーに重複する手法もある）。

1. 非補完的手法
2. ゲーム理論に基づく手法
3. 理想点に基づく手法
4. 定性データに基づく手法
5. 対話型情報収集に基づく手法
6. 優越関係に基づく手法
7. 総合評価法

また、以下では基本的に Table.3.1 を基本とし、最適な代替案を選択することを考える。これは、代替案 $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$ が離散的であるときの目的 Ω_j に関する評価 ω_{ij} （本章では特に断りのない限り、数値が大きいほどその目的から見て好ましいとする）を表したものであるが、これは

1. 値が序数的であるか、基数的であるか
2. 目的間の相互比較が可能であるか、不可能であるか

の2点から特徴付けられる。特に値が基数的である場合には ω_{ij} は目的 Ω_j ごとの目的関数 $\omega_j (j = 1, 2, \dots, m)$ の値を示し、また目的間の相互比較が基数的に可能な場合には、

$$0 \leq \omega_{ij} \leq 1 \quad \forall j \quad (3.1)$$

のように同様の範囲で基準化されていることを意味する。

3.1.1 非補完的手法

非補完的手法は、ある基準に関する優位性が他の基準の劣位性と交換され得ない場合の代替案の評価手法である。下記にレビューする手法の他、マキシマックス基準、マキシミン基準、フルビッツ基準、ミニマックス基準もこれに該当する。

パレート最適化モデル

パレート最適化モデルとは、以下に述べるパレート最適解（あるいは非劣解）を求める手法のことである。今 Table.3.1 において、複数の目的関数 $\omega_j (j = 1, 2, \dots, m)$ を最大限に達成しようとする社会的要請がある場合、代替案 A_i がパレート最適解であるとは、

$$\begin{aligned}\omega_{ij} &\leq \omega_{i'j}, \quad j = 1, \dots, p-1, p+1, \dots, m \\ \omega_{ip} &< \omega_{i'p}\end{aligned}\tag{3.2}$$

を満足する代替案 $A_{i'}$ が存在しないことである。言い換えれば、パレート最適解に対して、これよりもあらゆる評価側面で優れた代替案は存在しない。このパレート最適解は1個だけではなく、一般には複数存在し、これをパレート最適解集合と呼ぶ。

パレート最適化モデルは、新厚生経済学の分野において基礎となる理論である。新厚生経済学は、パレート基準を重視し、それによる判断が不可能であるときには仮説的な補償を想定して、分配面の評価を回避しつつ、社会的順序付けを行おうとした(川又, 1991)。

連結型手法 (Conjunctive Method)

連結型手法と分離型手法は、唯一の代替案を選択することが目的と言うよりは、むしろ複数の代替案をある決定基準値にしたがって「受け入れられる」か「受け入れられない」かのどちらかに分類することを目的としている。「連結型手法」は、Table.3.1の目的のそれぞれに対して決定基準値（最低許容レベル） ω_j^0 を設定し、それら全てをクリアした代替案のみが「受け入れられる」代替案として選択される。即ち、ある代替案 A^+ は次のように選択される。

$$A^+ = \{A_i \mid \omega_{ij} \geq \omega_j^0, \forall j\}\tag{3.3}$$

分離型手法 (Disjunctive Method)

分離型手法は連結型手法と異なり、一つ以上の目的の決定基準値を満たしさえすれば「受け入れられる」代替案として選択される。即ち、ある代替案 A^+ は次のように選択される。

$$A^+ = \{A_i \mid \omega_{ij} \geq \omega_j^0, \exists j\}\tag{3.4}$$

辞書編纂型手法 (Lexicographic Method)

辞書編纂型手法、選択原理 (EBA) は、複数の目的を何らかの基準にしたがって順序付け、その順位の高い目的から順に代替案を評価していく、というプロセスを取る。辞書編纂型手法においては、目的を意思決定者にとっての重要度にしたがって順位付けし、最も重要度の高い目的において最も高い目的関数値を持つ代替案が選択される。もし複数の代替案が選択された場合には、次に重要度の高い目的において最も高い目的関数値を持つ代替案が選択される。この手順を繰り返す、最終的に代替案が一つに絞られるまで繰り返される。即ち、 Ω_j を意思決定者にとって j 番目

($j = 1, 2, \dots, m$) に重要度の高い目的であるとする、ある代替案 A^+ は次のように選択される。

$$A^+ = \left\{ A_i \mid \max_i \omega_{i1}, \forall i \right\} \quad (3.5)$$

もし A^+ が一つの代替案しか含まなければ、それが選択される。もし複数の代替案を含めば、次式にしたがって代替案 A^{2+} を選択する。

$$A^{2+} = \left\{ A_i \mid \max_i \omega_{i2}, A_i \in A^+ \right\} \quad (3.6)$$

もし A^{2+} が一つの代替案しか含まなければ、それが選択される。もし複数の代替案を含めば、一つの代替案しか含まない A^{k+} が見つかるまで、もしくは全ての目的が考慮されるまで、このプロセスを繰り返す。

選択原理 (Elimination by Aspects:EBA)

選択原理 (EBA) は辞書編纂型手法と異なり、代替案がそれぞれの目的に関するある基準を満たしているかどうかの 0-1 で評価し、絞り込んでいく。また目的の順序は、辞書編纂型手法のように決まっておらず、その観点の重要さに応じて確率的に決定される。選択原理 (EBA) は、人々の選好が推移律を満たすとは限らないということを前提としたほぼ唯一の手法である (佐伯, 1998)。 X_j を j 番目 ($j = 1, 2, \dots, m$) に重要な観点であるとする、ある代替案 A^+ は次のように選択される。

$$A^+ = \{ A_i \mid \omega_{i1} \text{ satisfies } X_1, \forall i \} \quad (3.7)$$

もし A^+ が一つの代替案しか含まなければ、それが選択される。もし複数の代替案を含めば、次式にしたがって代替案 A^{2+} を選択する。

$$A^{2+} = \{ A_i \mid \omega_{i2} \text{ satisfies } X_2, A_i \in A^+ \} \quad (3.8)$$

もし A^{2+} が一つの代替案しか含まなければ、それが選択される。もし複数の代替案を含めば、一つの代替案しか含まない A^{k+} が見つかるまで、もしくは全ての目的が考慮されるまで、このプロセスを繰り返す。

3.1.2 ゲーム理論に基づく手法

ゲーム理論に基づく手法は、複数主体 (プレイヤー) 間の交渉過程 (ゲーム) と見なし、コンフリクト調整の結果としての妥協解を見出す手法である。

マキシマックス (Maximax) 基準

マキシマックス基準は、それぞれの代替案について最も良い目的関数値を見た上で、その値が最も良い代替案の中から選好される代替案を選択するという段階的な操作手順を踏む。ただ一つ

の最良の値を持つ目的だけが代替案の特徴として取り上げられ、他の全ての目的は考慮されない
ので、楽観的な基準であると言える。

Table.3.1において、マキシマックス基準に従えば、ある代替案 A^+ は次のように選択される。

$$A^+ = \left\{ A_i \mid \max_i \max_j \omega_{ij} \right\} \quad (3.9)$$

マキシミン (Maximin) 基準

マキシマックス基準と異なり、悲観的な基準と言えるのが、マキシミン (Maximin) 基準である。
これに従えば、Table.3.1 を例に取ると、ある代替案 A^+ は次のように選択される。

$$A^+ = \left\{ A_i \mid \max_i \min_j \omega_{ij} \right\} \quad (3.10)$$

フルビッツ基準

フルビッツ基準はマキシマックス基準とマキシミン基準の折衷であり、

$$U_H(A_i) = \alpha \max_j \omega_{ij} + (1 - \alpha) \min_j \omega_{ij} \quad (3.11)$$

が最大値となる代替案を選択する。即ち、ある代替案 A^+ は次のように選択される。

$$A^+ = \left\{ A_i \mid \max_i U_H(A_i) \right\} \quad (3.12)$$

ただし、 $0 < \alpha < 1$ であり、 α が大きいほどより楽観的で、小さいほどより悲観的になる。

ミニマックス (Minimax) 基準

ミニマックス基準による手順の第一段階は、各目的関数を最適（最大）とするような決定変数を求めることである。即ち、

$$\text{maximize } \omega_j(\mathbf{x}), \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3.13)$$

$$\text{subject to: } g_k(\mathbf{x}) \leq \bar{g}_k, \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (3.14)$$

となる。この結果としての各 j 番目の目的関数の最適値は $\omega_j^*(\mathbf{x}^j)$ と表される。これを用いて以下の Table.3.2 のような利得行列を作成する。

目的関数の最適値は利得行列の主対角線上に表されている。明らかに主対角線上の理想解に最も近いものが選好解としては選ばれるべきなので、代替案 A_i (そのときの決定変数 \mathbf{x}^i) を選択したときに、次式で定義される機会損失

$$c_{ij} = \omega_j^*(\mathbf{x}^j) - \omega_j(\mathbf{x}^i) \quad (3.15)$$

が最大となる状態を最悪のケースと考え、この最悪のケースが最も良くなる代替案を選択するのがミニマックス基準である。即ち、ある代替案 A^+ は次のように選択される。

$$A^+ = \left\{ A_i \mid \min_i \max_j c_{ij} \right\} \quad (3.16)$$

Table. 3.2: 目的関数を最適にする決定変数

	目的 $\Omega_1(\omega_1)$	目的 $\Omega_2(\omega_2)$...	目的 $\Omega_m(\omega_m)$
決定変数 \mathbf{x}^1	$\omega_1^*(\mathbf{x}^1)$	$\omega_2(\mathbf{x}^1)$		
決定変数 \mathbf{x}^2	$\omega_1(\mathbf{x}^2)$	$\omega_2^*(\mathbf{x}^2)$		
\vdots			\ddots	
決定変数 \mathbf{x}^m				$\omega_m^*(\mathbf{x}^m)$

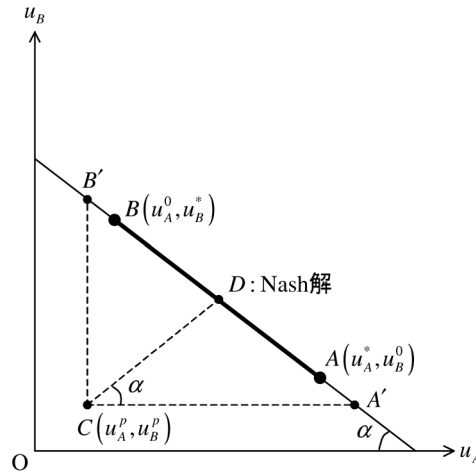


Fig. 3.1: Nash 解の図解

Nash 解

Nash 解 (Nash, 1950) は次のようにして求められる。

集団もしくは個人（以下集団とする） A と B の効用をそれぞれ u_A , u_B とし, Fig.3.1 において $C(u_A^p, u_B^p)$ を原点, $A(u_A^*, u_B^0)$ を集団 A が主張する点, $B(u_A^0, u_B^*)$ を集団 B が主張する点とする。また, 直線 AB を延長したものと, 点 C から水平方向と鉛直方向に直線を延ばしたものが交わる点をそれぞれ A' , B' とする。

このとき Nash 解は, A' , B' の点 C からの距離を同じ程度の効用差として一単位と見なし, 図中の勾配 α の直線を引き, 線分 AB との交点 D を求め, これを利害調整点とする。すなわち Nash 解においては, 点 A' と B' がそれぞれ集団 A と B にとっての仮想的な最良値を取る点, 点 C が仮想的な最悪値を取る点と考えることになる。利害調整点に合致する代替案が存在しない場合には, これに最も近い代替案を選択する。

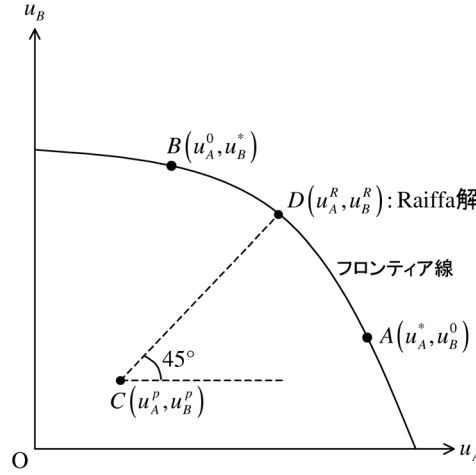


Fig. 3.2: Raiffa 解の図解

Raiffa 解

Raiffa 解 (Raiffa, 1953) は「現状点」のみに立脚した解である。今、フロンティア線（パレート最適となる点の集合）を Fig.3.2 のように描き、両団体の利害調整点が (u_A^R, u_B^R) であるとすれば、

$$d = u_A^R - u_B^R \quad (3.17)$$

が一定になる点で利害調整がなされる、と考えるのが Raiffa 解である。即ち、現状点を $C(u_A^p, u_B^p)$ とすれば

$$d = u_A^p - u_B^p \quad (3.18)$$

であるので、

$$d = u_A^R - u_B^R = u_A^p - u_B^p \quad (3.19)$$

となり、現状点を通る勾配 1 の直線とフロンティア線の交点 D が利害調整点となる。即ち、現状を仮想的な最悪値であるとすれば、最良値を現状との差が両集団で等しくなるように取ることになる。利害調整点に合致する代替案が存在しない場合には、これに最も近い代替案を選択する。

3.1.3 理想点に基づく手法

理想点に基づく手法は、各目的関数に関する何らかの理想値を設定できる場合の手法である。下記にレビューする手法の他、STEP 法、ミニマックス基準もこれに該当する。

ペナルティモデル

ペナルティモデルは各目的関数に関する目標値 ω_j^* を特定することが可能であるという仮定に基づいている。代替案 A_i を選択したときの結果 ω_{ij} と目標値 ω_j^* の偏差はペナルティ関数によって

ペナルティを課せられ、このペナルティ関数が最も小さい代替案が選択される。即ち、ある代替案 A^+ は次のように選択される。

$$A^+ = \left\{ A_i \mid \min_i \sum_{j=1}^m w_j |\omega_{ij} - \omega_j^*|^\alpha \right\} \quad (3.20)$$

ここで w_j は j 番目の偏差に対するウェイトを表し、 α は偏差に対する重視の度合いを表す。 α はより大きな目標値との差により重いペナルティを課す際には大きな数字となるが、一般には $\alpha = 1, 2$ のどちらかが取られる。

ゴールプログラミングモデル

ゴールプログラミングモデルはペナルティモデルと同様に、できるだけ目標値 $\omega_j^* (j = 1, 2, \dots, m)$ に近い代替案を選択しようとする。異なるのは、ペナルティモデルでは目標値との偏差にペナルティを課すと考えていたのに対し、ゴールプログラミングモデルでは目標値 ω_j^* からの差を超過量 ω_j^+ と不足量 ω_j^- に分けて捉え、その最小化を目指しているという点である（ペナルティモデルにおける $\omega_j = 1, \alpha = 1$ の特殊ケースでもある）。代替案 A_i を選択したときの超過量と不足量をそれぞれ $\omega_{ij}^+, \omega_{ij}^-$ とすると、ある代替案 A^+ は次のように選択される。

$$A^+ = \left\{ A_i \mid \min_i \sum_{j=1}^m (\omega_{ij}^+ + \omega_{ij}^-) \right\} \quad (3.21)$$

$$\text{ただし } \omega_{ij} - \omega_{ij}^+ + \omega_{ij}^- = \omega_j^*, \omega_{ij}^+, \omega_{ij}^- \geq 0, \omega_{ij}^+ \cdot \omega_{ij}^- = 0 \quad (3.22)$$

TOPSIS

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) は、理想点に最も近く、最悪点から最も遠い代替案が選ばれるべきだという考え方にに基づき代替案の選択を行う手法である。

今、各目的関数に関する理想値を $\omega_j^* (j = 1, 2, \dots, m)$ 、最悪値を $\omega_j^- (j = 1, 2, \dots, m)$ とすると、各代替案の理想点からの乖離 S_i^* と最悪点からの乖離 S_i^- は、 n 次元ユークリッド距離を用いて次のように与えられる。

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\omega_{ij} - \omega_j^*)^2} \quad (3.23)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\omega_{ij} - \omega_j^-)^2} \quad (3.24)$$

これより代替案は次のように選択される。

$$A^+ = \left\{ A_i \mid \max_i \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \right\} \quad (3.25)$$

3.1.4 定性データに基づく手法

定性データに基づく手法は、目的や目的から見た代替案に関する順序などの定性的なデータから代替案の選択を行う手法である。

中間的順序付け手法 (Median Ranking Method)

中間的順序付け手法は定性的なデータの中でも順序データを扱う手法であり、まず取り得る全ての代替案の順序を考え、その中で最も相違の少ないものを選択するというアプローチを取る。

今、Table.3.1 の ω_{ij} を、目的 Ω_j の観点から代替案 A_i を順序付けしたときの順序 $(1, 2, \dots, n)$ であると考え、 ω_{ij} は総合的に見て k 番目である ($k = 1, 2, \dots, n$) と言ったときの非合致尺度は、その目的順序と k 番目の順序の差を合計したものとして定義される。

即ち、代替案 A_i が k 番目であると言ったときの非合致尺度 d_{ik} は、

$$d_{ik} = \sum_{j=1}^m |\omega_{ij} - k| \quad (3.26)$$

で表される。これを全ての i と k について行えば、以下のような距離マトリックスが得られる。

$$\begin{array}{c} \text{代替案 } A_1 \\ \text{代替案 } A_2 \\ \vdots \\ \text{代替案 } A_n \end{array} \begin{pmatrix} 1 \text{ 番目} & 2 \text{ 番目} & \cdots & n \text{ 番目} \\ d_{11} & d_{12} & & \\ d_{21} & d_{22} & & \\ & & \ddots & \\ & & & d_{nn} \end{pmatrix} \quad (3.27)$$

今、それぞれの代替案に順位を割り当てる為に、距離マトリックスから n 個の要素を取り出す必要がある。即ち、異なった行と列から、それらの合計が最小になるように n 個の要素を選び出す必要がある。これを式で表すと以下ようになる。

$$\text{minimize } \sum_{i,k} d_{ik} \quad (\text{ただし } i \text{ と } k \text{ は一対一に対応}) \quad (3.28)$$

これは、Hungarian Method のアルゴリズムにしたがって達成される。以上により、それぞれの代替案に順位を割り当てる手法が中間的順序付け手法である。

階層分析法 (Analytic Hierarchy Process:AHP)

階層分析法 (AHP) は定性的なデータの中でもペアワイズ評価データを扱う手法である。しかし本質的には、目的や代替案を階層構造として視覚的に表現し、意思決定者に複雑な問題を直感

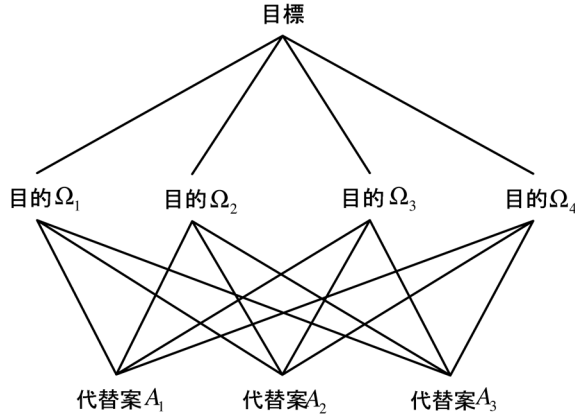


Fig. 3.3: AHP による階層構造

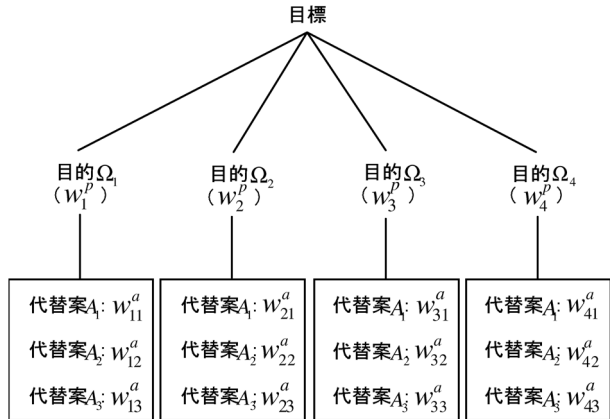


Fig. 3.4: AHP における目的と代替案の重み

的に理解しやすくすることが目的である．この階層は少なくとも3つあり，一番上には上位の目標を，真中にはそれを構成する複数の目的もしくは属性を，そして一番下には代替案を描く（Fig.3.3 参照）．

まず第一に，複数の目的間のペアワイズ評定を行い，それぞれが目標に対して寄与する重みを決定する．次に，それぞれの目的の観点から見た代替案の重み付けを，同様にペアワイズ評定により行う．目的 $j (j = 1, 2, \dots, m)$ の重みを w_j^p ，目的 Ω_j の観点から見た代替案 $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$ の重みを w_{ji}^a とする．ただし，

$$\sum_j w_j^p = 1, \sum_i w_{ji}^a = 1 \quad (3.29)$$

とする．最終的には Fig.3.4 のような図が得られ，これに基づけばある代替案 A^+ は次のように選択される．

$$A^+ = \left\{ A_i \mid \max_i \sum_{j=1}^m w_j^p w_{ji}^a \right\} \quad (3.30)$$

3.1.5 対話型情報収集に基づく手法

対話型情報収集に基づく手法は，意思決定者との対話により選好解を決定する手法である．

STEP 法

STEP 法においては，計算フェイズと決定フェイズの二つのフェイズを繰り返し実行する．具体的には，まず初期解を意思決定者に提示し，それに関して不満な点を述べてもらい，その新たな情報を加えて再び解を導く，ということを繰り返し行うアルゴリズムを取る．

Table.3.2 を作成し（ミニマックス基準参照）， t 回目の計算フェイズにおいては，理想解に最も近い可能解 \mathbf{x} を次のようにミニマックス的に求める．

$$\text{minimize } \lambda \quad (3.31)$$

$$\text{subject to: } \lambda \geq \left\{ \omega_j^*(\mathbf{x}^j) - \omega_j(\mathbf{x}) \right\} \cdot \pi_j, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad \mathbf{x} \in D^t \quad (3.32)$$

ただし， π_j は目的 j の， $\omega_j^*(\mathbf{x}^j)$ からの乖離に対するウェイト，また D^t は $(t-1)$ 回目の決定フェイズで決まる（ $t=1$ のときは初期条件における制約条件）．この解を $\{\omega_1(\mathbf{x}^t), \dots, \omega_m(\mathbf{x}^t)\}$ とする．

次に t 回目の決定フェイズにおいては，意思決定者は計算フェイズにおいて求めた可能解に対して満足できる評価とそうでない評価に分類し，満足できないものに関してはその評価（ ω_{j^*} ）をどの程度（ $\Delta\omega_{j^*}$ ）緩和させて良いかを決定する．この結果， $(t+1)$ 回目の計算フェイズにおける可能領域 D^{t+1} は，次式で与えられる．

$$\begin{aligned} D^{t+1} = \{ \mathbf{x} \mid & D^t, \\ & \omega_{j^*}(\mathbf{x}) \geq \omega_{j^*}(\mathbf{x}^t) - \Delta\omega_{j^*}, \\ & \omega_j(\mathbf{x}) \geq \omega_j(\mathbf{x}^t), \quad j = 1, \dots, m; \quad j \neq j^* \} \end{aligned} \quad (3.33)$$

ここで $\pi_{j^*} = 0$ とおいて $t+1$ 回目の計算フェイズに進む．

対話的 Frank-Wolfe 法

対話的 Frank-Wolfe 法 (Geoffrion et al., 1972) は，複数の目的からなる効用関数 $u\{\omega_1(\mathbf{x}), \dots, \omega_m(\mathbf{x})\}$ の最大化を行うのに，非線形計画法でよく用いられる Frank-Wolfe 法を用いる．その際， u の関数形が明示的に既知である必要はなく，部分的情報のみで済むようにアルゴリズムを構成している．その流れはおおよそ以下の通りである．

1. 制約条件の範囲内で，初期解 \mathbf{x}^1 を選ぶ． $k=1$ とおく．
2. \mathbf{x}^k において目的 ω_1 と ω_j との限界代替率 w_i^k を意思決定者が回答する．限界代替率は，

$$w_i^k = -\frac{\Delta\omega_1}{\Delta\omega_i} \quad (3.34)$$

で定義される．この情報に基づき，決定変数空間における効用の無差別超曲面の $\mathbf{x} = \mathbf{x}^k$ における接超平面を求める．

3. Frank-Wolfe 法によって最適解 \mathbf{y}^k を求め， $\mathbf{x}^k \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{y}^k$ の範囲内で効用関数 U が最大となる点を意思決定者の判断により求め，それを \mathbf{x}^{k+1} とおき，1. に戻る．
4. 以上の手順を繰り返し，最適解 \mathbf{y}^k が落ち着いたところで終了する．

SWT 法 (Surrogate Worth Trade-off Method)

SWT 法 (Haimes et al., 1972) は，評価空間における解の変化方向に対する選好情報を，SW 関数という序数的な形で与え，選好解を導く手法である．その流れはおおよそ以下の通りである．

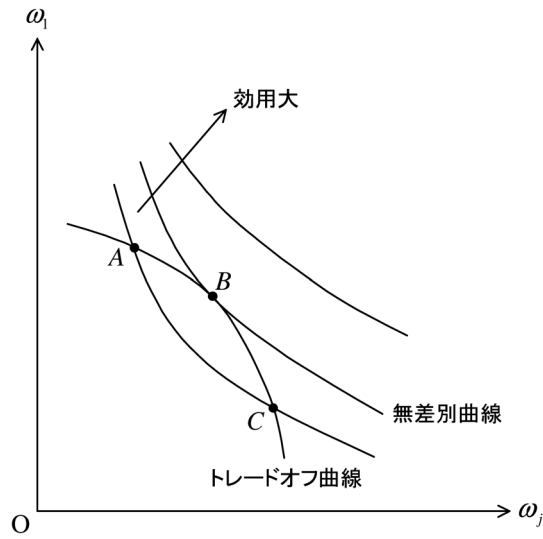


Fig. 3.5: SWT 法

1. 目的関数値の変動範囲の上限 ω_{\max} と ω_{\min} を設定する.
2. 1. に従い,

$$\omega_{\min} < \epsilon < \omega_{\max} \quad (3.35)$$

を満足する ϵ を選定する. ここでベクトルの不等号は, 各要素ごとの不等号を意味する.

3. 上記 ϵ のうち $(m-1)$ 要素を ϵ 制約として ϵ 制限法を解き, パレート最適解を一つ求める.
4. 上記パレート最適解に対して, SW 関数 $W_{1j} (j = 2, \dots, m)$ を意思決定者が与える. この SW 関数 $W_{1j} (j = 2, \dots, m)$ とは, Fig.3.5 のように無差別曲線とトレードオフ曲線を与えたときに, 点 A では負の値を, 点 B では 0 を, 点 C では正の値を与えるものである.
5. 1.~4. を繰り返し, 十分な数のパレート最適解を求める. この中で $(m-1)$ 個の SW 関数が全て 0 である解が選好解である.

3.1.6 アウトランキング手法

アウトランキング手法は, ‘アウトランキング (優越)’ の概念によるものであり, ELECTRE (Roy, 1991), コンコーダンス分析 (Nijkamp et al., 1977; ネイカンブら, 1989), PROMETHEE (Brans et al., 1985) などがある. 以下では, ELECTRE 法をもとに開発されたコンコーダンス分析を例として説明する.

コンコーダンス分析

Table.3.1において目的 Ω_j に対する重みを w_j とし,

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1, w_j \geq 0, \forall j \quad (3.36)$$

が成り立つものとする. コンコーダンス分析とは, ある代替案 A_i が他の代替案 $A_{i'}$ に対して, どの程度優位であるかを示すコンコーダンス指標と, どの程度劣位であるかを示すディスコーダンス指標を求め, それぞれコンコーダンス行列とディスコーダンス行列を作成し, 代替案の選択を行う手法である.

まずコンコーダンス指標 $c_{ii'}$ は次のように求められる.

$$c_{ii'} = \sum_{j \in C_j} w_j, i \neq i', \text{ただし } C_j = \{j \mid \omega_{ij} \geq \omega_{i'j}\} \quad (3.37)$$

一方ディスコーダンス指標 $d_{ii'}$ は次のように求められる.

$$d_{ii'} = \max_{j \in D_j} \frac{|\omega_{ij} - \omega_{i'j}|}{d_j^{\max}}, \text{ただし } D_j = \{j \mid \omega_{ij} < \omega_{i'j}\} \quad (3.38)$$

$$d_j^{\max} = \max_{i, i'} |\omega_{ij} - \omega_{i'j}|, i \neq i' \quad (3.39)$$

このように, コンコーダンス指標では, ある代替案 A_i が他の代替案 $A_{i'}$ に比べて同等かそれ以上の結果を持つ目的の全てを考慮するが, ディスコーダンス指標では, 最も大きく劣っている目的だけが考慮されることになる. 即ち, ディスコーダンス指標においては, 最悪のものだけを考慮しているという点でマキシミン基準の考え方の応用であると考えられる.

次に, 全ての代替案の組についてコンコーダンス指標 $c_{ii'}$ とディスコーダンス指標 $d_{ii'}$ を求めることによって, 以下に示すコンコーダンス行列 C とディスコーダンス行列 D を作成する.

$$C = \begin{pmatrix} - & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & - & \cdots & c_{2n} \\ & & \ddots & \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & - \end{pmatrix} \quad (3.40)$$

$$D = \begin{pmatrix} - & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & - & \cdots & d_{2n} \\ & & \ddots & \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & - \end{pmatrix} \quad (3.41)$$

最後に, これらの行列 C, D を用いて選択する代替案を決定する. その一つの手法としては, 次式で定めるコンコーダンス優越指標 c_i とディスコーダンス優越指標 d_i を用いる手法である.

$$c_i = \sum_{i'=1}^n c_{ii'} - \sum_{i'=1}^n c_{i'i}, i \neq i' \quad (3.42)$$

$$d_i = \sum_{i'=1}^n d_{ii'} - \sum_{i'=1}^n d_{i'i}, i \neq i' \quad (3.43)$$

そしてこれらを総合して、例えば以下のような総合指標 e_i を用いて代替案 A^+ を選択する.

$$A^+ = \left\{ A_i \mid \max_i e_i = c_i - d_i \right\} \quad (3.44)$$

3.1.7 総合評価法

本研究では総合評価法を、「代替案が複数の基準から定量的に評価されている場合、何らかの方法でこれらの指標を統合し、総合的な評価から代替案の選択を行うこと」と定義する. これを定式化すると、以下のようになる.

$$A^+ = \left\{ A_i \mid \max_i f(\omega_{i1}, \omega_{i2}, \dots, \omega_{im}) \right\} \quad (3.45)$$

以下に述べる階層最適化モデルについてはこの定式化に当てはまらないが、多段的に全ての目的を考慮し評価の最大化を図るため、総合評価法として分類した.

単純加法的重み付け (Simple Additive Weighting)

「単純加法的重み付け」は、おそらく最もよく知られ、最も広く使われているスコアリング法である. それぞれの目的に対して重みが与えられ、それに得られたデータの値を掛け合わせ、線形和したものが最も大きな代替案が選択されるというアプローチを取る. したがって、異なる測定単位を持つものは加算できないので、その場合には基準化することで共通単位に直すことが必要とされる. Table.3.1 において目的 Ω_j に対する重みを w_j とすれば、ある代替案 A^+ は次のように選択される.

$$A^+ = \left\{ A_i \mid \max_i \sum_{j=1}^m w_i \omega_{ij} \right\} \quad (3.46)$$

ここで、各目的に対する重みを等しい ($1/m$) と考える、すなわち、Table.3.1 の各代替案が有する目的関数値の平均値を

$$U_E(A_i) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \omega_{ij} \quad (3.47)$$

のときこれが最大となる代替案 A^+

$$A^+ = \left\{ A_i \mid \max_i U_E(A_i) \right\} \quad (3.48)$$

を選択する手法は、ラプラス基準と呼ばれる.

乗法的重み付け (Weighted Product)

「単純化法的重み付け」においては、測定単位が異なる場合には基準化によって無次元化する必要があった。しかし、この変換は目的関数値が積によって結び付けられれば必ずしも必要ではない。「乗法的重み付け」においては、目的関数値は積で結び付けられ、重みはそれぞれの目的関数値の累乗となる。即ち、ある代替案 A^+ は次のように選択される。

$$A^+ = \left\{ A_i \mid \max_i \prod_{j=1}^m \omega_{ij}^{w_j} \right\} \quad (3.49)$$

等弾力性社会厚生関数 (CES 型社会厚生関数)

等弾力性社会厚生関数を用いれば、ある代替案 A^+ は次のように選択される。

$$A^+ = \left\{ A_i \mid \max_i \frac{\sum_{j=1}^m w_j (\omega_{ij})^{1-\rho}}{m(1-\rho)} \right\} \quad (3.50)$$

ただし、
 $1/\rho : U$ の代替弾力性

ここで $\rho = 0$ ならば単純加法的重み付けケース、 $\rho \rightarrow 1$ ならば乗法的重み付けケース、 $\rho \rightarrow \infty$ ならば後述するマキシミン基準ケースである。

階層最適化モデル (Hierarchical Optimization Model)

階層最適化モデルでは、まず最も重要度の高い目的についてそれを最適化したときの決定変数値と目的関数値を求める。次の段階では次に重要度の高い目的について、制約条件としてその前段階で最適化された目的関数値に関連したものを加え、同様の作業をする。以上のプロセスを、全ての目的が考慮されるまで繰り返す。 Ω_j を j 番目に重要な目的であるとして、これを定式化すると、以下ようになる。

$$\begin{aligned}
 &\text{step1} \\
 &\begin{cases} \omega_1^* = \max \omega_1(\mathbf{x}) \\ \text{subject to : } g_k(\mathbf{x}) \leq \bar{g}_k, \quad k = 1, 2, \dots, l \end{cases} \\
 &\text{step2} \\
 &\begin{cases} \omega_2^* = \max \omega_2(\mathbf{x}) \\ \text{subject to : } g_k(\mathbf{x}) \leq \bar{g}_k, \quad k = 1, 2, \dots, l \\ \omega_1(\mathbf{x}) \geq \beta_1 \omega_1^* \end{cases} \\
 &\text{step3} \\
 &\begin{cases} \omega_3^* = \max \omega_3(\mathbf{x}) \\ \text{subject to : } g_k(\mathbf{x}) \leq \bar{g}_k, \quad k = 1, 2, \dots, l \\ \omega_1(\mathbf{x}) \geq \beta_1 \omega_1^* \\ \omega_2(\mathbf{x}) \geq \beta_2 \omega_2^* \end{cases} \\
 &\vdots
 \end{aligned} \tag{3.51}$$

ここで、 ω_j^* はそれぞれ step j によって達成される $\omega_j(\mathbf{x})$ の最適値であり、パラメータ β_j は ω_{j+1}^* を決定する際の ω_j^* の減少に関する閾値を表している。

多属性効用関数

定量データが効用関数（4.1.1 参照）として与えられる場合には、「多属性効用関数」としての定式化が可能である。今、属性集合を $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ とし、それに対応する結果を $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ （ただし $x_i \in X_i$ ）とする。代替案 A_i を選択したときの結果を $\{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$ のように表せば、ある代替案 A^+ は次のように選択される。

$$A^+ = \left\{ A_i \mid \max_i u(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) \right\} \tag{3.52}$$

この $u(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ の関数形を求めようというのが、多属性効用関数のアプローチである。

Keeney et al. (1993) によると、属性集合 $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ の全ての部分集合 I がその補集合 J に関して効用独立であるとき（即ち属性 X_1, X_2, \dots, X_n が相互効用独立性を満たすとき）には、「多属性効用関数」は

$$ku(x_1, x_2, \dots, x_n) + 1 = \prod_{i=1}^n \{kk_i u_i(x_i) + 1\} \tag{3.53}$$

と表される。ここで

$$\begin{aligned}
 &u(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) = 0, \quad u(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) = 1 \\
 &u_i(x_i) = u_i(x_i \mid x_{i^c}^0), \quad i^c = \{1, \dots, i-1, i+1, \dots, n\} \\
 &k_i = u(x_i^*, x_{i^c}^0) \\
 &k \text{ は } k+1 = \prod_{i=1}^n (kk_i + 1) \text{ の解}
 \end{aligned} \tag{3.54}$$

であり、式 (3.53) は $k \neq 0$ の場合を示している。これを乗法形効用関数 (multiplicative utility function) と呼ぶ。 $k = 0$ の場合には、加法形の「多属性効用関数」

$$u(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n k_i u_i(x_i) \quad (3.55)$$

が得られる。即ち、定量データが効用関数として与えられた場合に「単純加法的重み付け」によって多目的意思決定を行うことは、属性間の相互効用独立性の他に、加法独立性も仮定することになる。

Keeney et al. (1993) のモデルを更に一般化したものとして、田村ら (1997) によるモデルがある。これは、属性間の相互効用独立性の前提を外し、ある属性の効用値は、他の属性の結果次第で変化し得ると考えてモデル化されたものである。

なお上記の Keeney et al. (1993) のモデル、田村ら (1997) のモデルは基本的に効用関数を基として展開したものであるが、価値関数 (4.1.1 参照) の場合にも拡張される。

3.2 多属性意思決定手法の適用可能性

本節ではまず、3.1 でレビューした各手法を開発と環境のコンフリクト存在下における代替案の評価に適用できる可能性について述べ、後半ではそれをまとめる。

3.2.1 開発と環境のコンフリクト問題への適用可能性

非補完的手法の適用可能性

非補完的手法では目的間の代替性に関する情報は必要とされず、目的間の関連性を全く考慮しない (パレート最適化モデル) か、受容される下限値を設定する (連結型手法、分離型手法) か、目的間の重要性に関する順序を設定する (辞書編纂型手法、選択原理)。それ故代替案選択のための論理と計算は単純であるが、代替案の選択あるいは絞り込みに関して限られた情報しか得られないことが多い。開発と環境のコンフリクト問題では、例えば開発と環境といった目的間に順序を付け、重要なものだけを考慮して代替案を選択するという手法は受け入れられがたく、代替案が多数あるときにそのスクリーニングに利用するといった活用に限定されるだろう。

さらにパレート最適化モデルに関しては、目的の内容次第で代替案の順序づけについて重大な問題が発生するケースがある。Table.3.1 において、目的 Ω_j を個人、目的関数の値 ω_{ij} を個人の代替案に対する効用 (詳細は第3章に記述) であると読み替えると、パレート最適化モデルは、効用の個人間比較不可能性と効用の序数性を前提としたモデルであると考えられる。Arrow (1963) はこれら二つの情報的基礎を仮定し、個人的選好を基に社会的厚生順序を導出することが困難であることを論証した。

$x \succeq_i y$ という表記法を「構成員 i は x を y よりも選好するか、もしくは、両者を同程度に選ぶ」とする。いま以下3つの選好の合理性を仮定する。

1. 反射律：全ての選択肢 x に対し、 $x \succeq_i x$

Table. 3.3: 二つの社会厚生関数

社会厚生関数	概要	仮定・基本理念	適用可能性
バーグソン・サミュエルソン社会厚生関数	厚生経済学上の選好順序を実数値で示したものの	効用の個人間比較可能性・効用関数の基数性（旧厚生経済学）	アローの一般可能性定理は成立せず，社会厚生関数による社会厚生順序の決定が可能
アロー社会厚生関数	構成員の主観的選好の集合から合理的に社会的選好を導出するための規則	効用の個人間比較不可能性・効用関数の序数性（新厚生経済学）	アローの一般可能性定理により，民主主義的な社会厚生関数を導出することは不可能

2. 連結律：全ての選択肢 x, y に対し， $x \succeq_i y$ または $y \succeq_i x$ である

3. 推移律：全ての x, y, z に対し， $x \succeq_i y, y \succeq_i z$ ならば $x \succeq_i z$

このとき，Arrow は，2人以上の構成員からなる社会が3つ以上の選択肢に関して社会的決定を行う場合，「個人選好の無制約性」「市民の主権性・パレート最適性」「無関係対象からの独立性」「非独裁性」という一見明らかな4つの公理を満足させる決定方式は存在しないことを証明した。これは Arrow の一般可能性定理（あるいは不可能性定理）と呼ばれる。

その後 Sen (1973) は，上記選好の合理性のうち推移律に関する条件を緩和することなどにより，社会的決定としてはパレートの意味で比較不可能な社会状態を全て社会的に無差別とするものに限られることを示した。しかしいずれにしても，効用の個人間比較不可能性と効用の序数性を前提としては，社会的決定に関して極めて限られた情報しか得られない。またどちらか一方の前提だけを緩和したのでは，Arrow の定理は成立し，双方の前提を緩和して初めて社会的決定が可能となることが証明されている (Boadway et al., 1984; 依田, 1998)。

以上を「社会厚生関数の作成方法」という観点から論じると次のようになる。社会厚生関数とは，所得分布や資源配分の社会的状態に関する順序づけの基礎となる概念のことを言う。この社会厚生関数には二つの異なる概念があり，一つは厚生経済学上の先駆夫順序を実数値で表現したものであり，バーグソン・サミュエルソンの社会厚生関数である。もう一つは構成員の主観的選好の集合から合理的に社会的選好を導出するための規則であり，アローの社会厚生関数である (依田, 1998)。前者は旧厚生経済学の枠組みを基礎とし，効用の個人間比較可能性と効用関数の基数性を仮定しているため，アローの一般可能性定理は成立せず，社会厚生関数による社会厚生順序の決定が可能である。一方で後者は，新厚生経済学の枠組みを基礎とし，効用の個人間比較不可能性と効用関数の序数性を仮定しているため，アローの一般可能性定理により，民主主義的な社会厚生関数を導出することは不可能となる (Table.3.3)。

これより，Table.3.1 において ω_{ij} を個人の代替案に対する効用として，河川開発と環境保全のコンフリクト存在下における代替案の評価に役立てようとする場合には，どうしても効用の個人間比較可能性と効用の基数性を前提とする必要がある。

ゲーム理論に基づく手法の適用可能性

ゲーム理論に基づく手法はプレイヤーの戦略に基づいた意思決定を行うため、楽観的か悲観的かなど状況の見通しに関する情報を必要とする（マキシマックス基準、マキシミン基準、フルビッツ基準、ミニマックス基準）か、交渉のスタートとなる原点に関する情報が必要（Nash 解、Raiffa 解）となる。

マキシマックス基準、マキシミン基準、フルビッツ基準、ミニマックス基準は、前述のように非補完的手法でもあり、目的間の代替性は考慮せずに意思決定を行う。開発と環境のコンフリクト問題においては、例えば洪水被害の最小化や環境価値の最大化といった唯一の目標について社会的な合意が得られていればこれらの手法は適用可能であるが、通常こうした目標の合意が得られないためにコンフリクトの生じていることを考えれば、これらの手法を用いた代替案の評価は受け入れられないであろう。

Nash 解、Raiffa 解については、交渉の出発点である原点をどこに置くかという問題がある。原点の考え方としては、現状、交渉が決裂した場合の状態、社会構成員全員にとっての最悪の事態などが考えられるが、開発と環境のコンフリクト問題においては、現状に不満・不備があるために開発計画が検討されることを考えると、現状を原点に置くことは考えられず、また誰もが納得するやを決定することも困難である。またこれらの手法は導かれる妥協解を作為的に操作することが可能で（佐伯, 1998）、手法論としての問題も抱えている。以上より、ゲーム理論に基づく手法を開発と環境のコンフリクト問題に適用し、代替案選択に活かすことは困難と考えられる。

理想点に基づく手法の適用可能性

理想点に基づく手法は、各目的に関して目標とする理想点（ペナルティモデル、ゴールプログラミングモデル）か、さらに最も望ましくない最悪点（TOPSIS）に関する情報が必要となる。

近年、二酸化炭素の削減や持続可能な社会に向けた検討において、バックキャスティングという概念が多く用いられている。バックキャスティングとは、例えば「長期的な将来目標社会像に到達するには何を行わなければならないのかを検討し、その上に立って中短期的な政策・対策を立案するという考え方」と定義される（松岡, 2006; 金ら, 2007）。開発と環境のコンフリクト問題においても、こうした目標を対話の基で合意できる場合には有効であると考えられる。

定性データに基づく手法の適用可能性

定性データに基づく手法では、目的から見た代替案の順序（中間的順序付け手法）や、目的間のペアワイズ評定結果（階層分析法）といった情報が必要である。

中間的順序付け手法では、目的から見た代替案の順序のみから代替案が選択されるため、代替案やその評価に関する情報が非常に限られている場合には有効であるが、近年の多くの開発と環境のコンフリクト問題のように多様な情報による議論が行われている場合にはほとんど受け入れられないと考えられる。階層分析法もペアワイズ評定結果によって代替案選択を行うため同様の問題が残るが、目的間の評定と目的から見た代替案の評定という2種類のペアワイズ評定を行うため、住民意識のおよその把握には活用可能と考えられる。

対話型情報収集に基づく手法の適用可能性

対話型情報収集に基づく手法は、選択された代替案の評価や目的間の限界代替率などに関して意思決定者に繰り返し情報の提供を求めるため、意思決定者にとっては負担の大きな手法であるが、一方でその情報を有効に活用しながら解の絞り込みを行っていくようアルゴリズムが組まれているため、魅力的な手法と言える。

しかしいずれの手法も、開発と環境のコンフリクト問題のように意見の異なる多様なステイクホルダーが存在するときに、具体的にどのように情報を収集・集約し次のステップに活用するかという点で困難が生じる。例えばSTEP法であれば、計算フェイズにおいて求まった可能解に対して、満足できる評価とそうでない評価にどのように分類するかという問題がある。こうした判断でも意見の分かれることが想定されるため、ここに挙げた対話型情報収集に基づく手法を適用することは実際には難しいと考えられる。

アウトランキング手法の適用可能性

アウトランキング手法は、目的の重要性や代替案間の優位性と劣位性、目的から見た代替案の評価などを総合的に考慮して代替案選択を行い、また手法や概念も比較的単純で理解されやすいため、適用可能性は高いと考えられる。

しかし例えばコンコーダンス分析であれば、目的から見た代替案の評価はコンコーダンス指標には用いられず、ディスコーダンス指標においてもミニマックス的にしか活用されない。開発と環境のコンフリクト問題においては、目的から見た代替案の評価に関する情報の収集・整理には大きな労力を要することが多く、それが結果的にあまり活用されずに代替案選択がなされる場合には手法に対する反発も予想される。

総合評価法の適用可能性

総合評価法は直感的に理解されやすく、またTable.3.1の情報（目的から見た代替案の評価）を全て用いて代替案評価を行うため、最も適用可能性の高い方法と考えられる。

しかし全ての手法で目的の重要性（多くの場合重み）に関する情報を必要とし、これは代替案の選択結果に大きな影響を与える。開発と環境のコンフリクト問題においては、目的の重要性に関する認識の違いがコンフリクトを生じさせているケースも多く、誰もが納得する重みを決定することは困難と考えられる。

したがって目的の重みに関しては、

1. 主張されている目的の全てが同じ重みを持つと仮定する
2. アンケートの結果や目的の重要性を主張する人口など、何らかの手法により目的の重みを算出する

などの方法を用いるが、参考情報にとどめ、これをきっかけとして議論を進めるといった使い方をすることが望ましい。

3.2.2 多属性意思決定手法のまとめ

3.1 と 3.2.1 で述べた多属性意思決定手法をまとめたものが、Table.3.4 である。これを踏まえれば、多属性意思決定手法を河川開発と環境保全のコンフリクト存在下における代替案の評価に適用する際には、「総合評価法」あるいは「理想点に基づく手法」を基本的なフレームとし、これをたたき台として意見交換や合意形成を図るのが良いと考えられる。

そのためには、3.2.1 の「非補完的手法の適用可能性」で述べたように、Table.3.1 の目的関数の値 ω_{ij} を、基数的にかつ目的間で相互比較可能なように評価する必要がある。次章ではこの ω_{ij} の算出方法について述べる。

Table. 3.4: 多属性意思決定手法のまとめ

カテゴリー	概要	手法の例	必要な情報	代替案の評価		開発と環境のコンフリクト問題への適用可能性
				基数的	目的間比較可能	
非補完的手法	ある基準に関する優位性が他の基準の劣位性と交換され得ない場合の代替案の評価手法	パレート最適化モデル, 連結型手法, 分離型手法, 辞書編纂型手法, 選択原理	目的から見た代替案の序数的あるいは基数的評価や, 受容される下限値, 目的間の重要性の順序に関する情報が必要	手法による	手法による	× 例えば開発と環境といった目的間に順序を付け, 重要なものだけを考慮して代替案を選択するという手法は受け入れられがたく, 代替案が多数あるときにそのスクリーニングに利用するといった活用に限定される。
ゲーム理論に基づく手法	複数主体(プレイヤー)間の交渉過程(ゲーム)と見なし, コンフリクト調整の結果としての妥協解を見出す手法	マキシマックス基準, マキシミン基準, フルビッツ基準, ミニマックス基準, Nash解, Raiffa解	楽観的か悲観的かなど状況の見通しに関する情報か, 交渉のスタートとなる原点に関する情報が必要	○	○	× 例えば洪水被害の最小化や環境価値の最大化といった唯一の目標について社会的な合意が得られていればこれらの手法は適用可能であるが, 通常こうした目標の合意が得られないためにコンフリクトの生じていることを考えれば, これらの手法を用いた代替案の評価は受け入れられない。
理想点に基づく手法	各目的関数に関して, 何らかの理想値を設定できる場合の手法	ペナルティモデル, ゴールプログラミングモデル, TOPSIS	総合評価法に必要な情報の他, 各目的に関して目標とする理想点か, さらに最も望ましくない最悪点に関する情報が必要	○	○	○ 環境分野における「バックキャストिंग」のように, 将来目標を対話の基で合意できる場合には有効である。
定性データに基づく手法	目的や目的から見た代替案に関する順序などの定性的なデータから代替案の選択を行う手法	中間の順序づけ手法, 階層分析法(AHP)	目的から見た代替案の順序か, 目的間のペアワイズ評定結果に関する情報が必要	×	○	△ 代替案やその評価に関する情報が非常に限られている場合には有効であるが, 近年の多くの開発と環境のコンフリクト問題のように多様な情報による議論が行われている場合には受け入れられないか, 住民意識のおよその把握といった活用に限られる。
対話型情報収集に基づく手法	意思決定者との対話により選好解を決定する手法	STEP法, 対話的Frank-Wolfe法, SWT法	選択された代替案の評価や目的間の限界代替率などに関して意思決定者から繰り返し情報を得ることが必要	○	○	△ 開発と環境のコンフリクト問題のように意見の異なる多様なステイクホルダーが存在するときに, 具体的にどのように情報を収集・集約し次のステップに活用するかという点で困難が生じる。
アウトランキング手法	代替案間の「アウトランキング(優越)」関係に基づく手法	コンコルダンス分析	目的の重みや目的から見た代替案の基数的評価に関する情報が必要	○	○	△ 目的から見た代替案の評価に関する情報の収集・整理には大きな労力を要することが多く, それが結果的にあまり活用されずに代替案選択がなされる場合には手法に対する反発も予想される。
総合評価法	代替案が複数の基準から定量的に評価されている場合, 何らかの方法でこれらの指標を統合し, 総合的な評価から代替案の選択を行う手法	単純加法重み付け, 乗法的重み付け, 等弾力性社会厚生関数, 階層最適化モデル, 多属性効用関数	目的の重要性(多くの場合重み)や目的から見た代替案の基数的評価に関する情報が必要	○	○	○ 多様な情報から代替案評価を行うため, 最も適用可能性の高い方法と考えられるが, 誰もが納得する重みを決定することは困難と考えられ, 活用方法に注意が必要である。

第4章 コンフリクト存在下における代替案の評価手法

河川開発と環境保全のコンフリクトでは、「ステイクホルダー」をどう捉えるかが重要となる。例えば Barrow (2000) は開発に関わる主なステイクホルダーとして、「開発者」（建設業者，行政，政府），「専門家」（公認組織），「監視役」（個人，メディア，NGO），「規定者」（法律，行政機関），「コミュニティ」（地元，地域，国家，世界），「調査役」（コンサルタント，政府組織）の6つを挙げている。

しかし「ステイクホルダーに社会的な視点を持たせ，合意形成やよりよい意思決定につなげる」という本研究の目的を鑑みれば，ステイクホルダーは，開発によって直接的な便益もしくは被害を被る主体に限定して捉える方が良いと考えられる。行政や政府は特定の住民の利害や価値観を代弁する主体であり，また建設業者やコンサルタントが利益の有無に対してコンフリクト問題を起こすケースは本研究の対象ではないことを考え，本研究では河川開発に関わるステイクホルダーを「河川開発を行うこと（または行わないこと）によって直接的な便益もしくは被害を被る集団のこと」と定義し，以下においては分析上の扱いを簡単にするために，特定の評価基準についてその改善を志向する仮想的な集団（ただし志向の度合いは人により異なる）であるとする。

河川開発と環境保全のコンフリクトは基本的にこのステイクホルダー間の対立であると考えられると，Table.3.1 の目的 Ω_j は各ステイクホルダーの評価軸に関する目的関数と考えることができる。これは通常「効用関数」や「価値関数」として評価される。そこで4.1では，効用関数・価値関数の概要と，ステイクホルダーの目的関数としてこれらを用いることの問題点について考察し，4.2では効用関数・価値関数に代わる「満足関数」の理論について述べる。4.3では満足関数を構築した上でどのように代替案の評価を行うかについて述べる。

4.1 効用関数と価値関数の概要と問題点

4.1.1 効用関数と価値関数

河川開発に関わる代替案に対して複数のステイクホルダーから見た評価を定量化するためには，それぞれの利得，あるいは効用を基数的に（即ち間隔尺度，あるいは比率尺度によって）評価しなくてはならない。その手法として効用関数と価値関数を用いる方法がある。これらは共に「ある計測値又は一次指標に対する満足の度合い」を表しているという点で混同されやすいが，数学的には異なる概念によって定義されたものであるため，まずこれらの違いを明確にする。

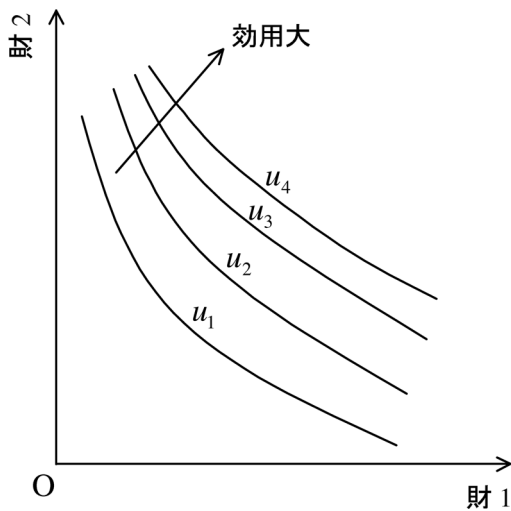


Fig. 4.1: 無差別曲線群

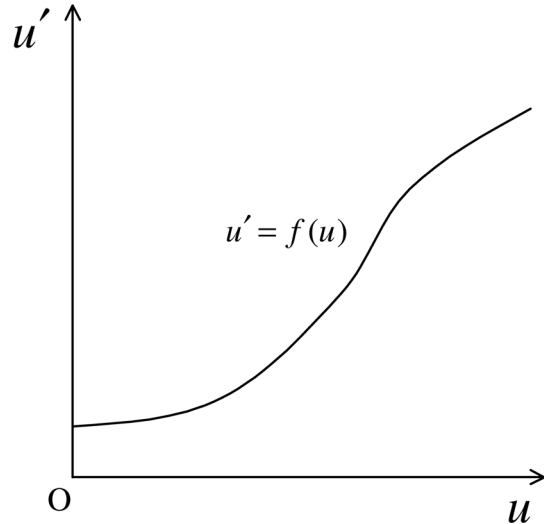


Fig. 4.2: 序数的効用の順序保存的変換

効用関数 (von Neumann et al., 1947; 石谷ら, 1997; 田村ら, 1997)

効用関数について述べる前に、まず効用という概念を巡る歴史について述べる。

歴史的には、効用というものは数値的に計測するのではなく、「代替案 A の方が代替案 B よりも効用が大きい」という比較が中心であった。つまり、効用の大小関係だけに意味があると考えられる序数的効用が主流であった。von Neumann et al. (1947) が “Theory of Games and Economic Behavior” を出版するまでは、効用が基数的であることを直感的に理解できるような意味のある手法が存在していなかった為に、効用が序数的であるという仮定が妥当であると考えられていた。この状況を説明する数学的な手順が、無差別曲線によるものである。

Fig.4.1 は無差別曲線群を示す。この図で、同一の無差別曲線上の任意の 2 点は効用的に等価である。また無差別曲線には効用の大小関係がついており、この場合 u_1, u_2, u_3, u_4 の順に効用が大きくなる。即ち

$$u_i < u_{i+1}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (4.1)$$

という大小関係を有する。またこのような大小関係は、Fig.4.2 に示すような任意の単調増加関数 f による変換を行っても不変であり、

$$f(u_i) < f(u_{i+1}), \quad i = 1, 2, 3 \quad (4.2)$$

が常に満足される。即ち、序数的効用の効用差 $u_i - u_j$ は正、負、零のいずれかであるかの意味しかもたない。

以上のような伝統的な序数的効用に対し、von Neumann et al. (1947) は、代替案の選択に確率概念（くじ）を導入することで、数値的な効用、即ち基数的効用が得られることを示した。具体的には、事象 A, B, C に対する選好順序が $C > A > B$ であるような個人が、“A という事象が生起する” という代替案と “B という事象が 50 % で生起し、C という事象が 50 % で生起する” という代替案を比較して、

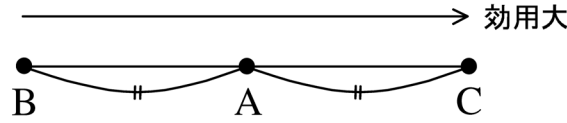


Fig. 4.3: 基数的効用による代替案ごとの尺度

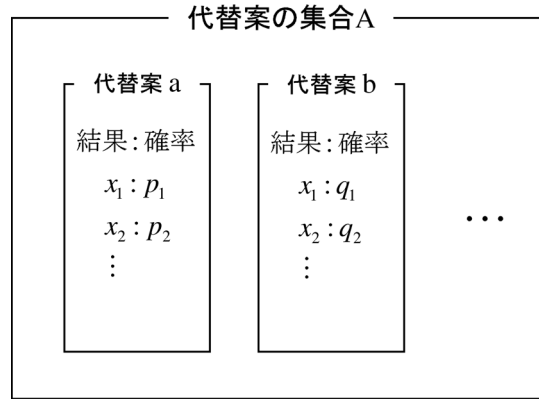


Fig. 4.4: 代替案集合と結果と確率の関係

1. 前者の代替案を選択する場合 A と B の効用差の方が, C と A の効用差よりも大きい
2. 後者の代替案を選択する場合 C と A の効用差の方が, A と B の効用差よりも大きい
3. 代替案が無差別である場合 A と B の効用差と, C と A の効用差が等しい

のように考え, 効用差の大小に意味を持たせることで基数的効用を得た. この 3. のときには Fig.4.3 に示すような効用の大小関係が描かれ, これより, 基準の効用差は何を用いてもよく, また原点もどこでも良いため,

$$u' = au + b \quad (4.3)$$

なる線形変換を行っても差し支えない. 言い換えれば, 基数的効用は線形変換の範囲内でしか一意に定まらない.

以上によって示された基数的効用を用いて, その効用関数を描く手法について説明する. そのためにまず, 「期待効用仮説」について説明する.

意思決定者が選択することのできる代替案の集合を $A = \{a, b, \dots\}$ とする. 意思決定者が代替案 a を選択したときに, 結果 x_i が得られる確率を p_i , 代替案 b を選択したときに結果 x_i が得られる確率を q_i , ...のようにし, 起こりうる全ての結果の集合を $X = \{x_1, x_2, \dots\}$ とする (Fig.4.4 参照).

このとき

$$p_i \geq 0, q_i \geq 0, \dots \quad (4.4)$$

$$\sum_i p_i = \sum_i q_i = \dots = 1 \quad (4.5)$$

を満たす. また, $u(x_i)$ を結果 x_i を得たときの基数的効用であるとすれば, 代替案 a, b, \dots を採用したときの期待効用は, 各々

$$E_a = \sum_i p_i u(x_i), \quad E_b = \sum_i q_i u(x_i), \dots \quad (4.6)$$

で与えられる. von Neumann et al. (1947) は五つの公理を設定し, これらが成り立つときには, 期待効用仮説「意思決定者は代替案の集合 A の中から, 期待効用が最大になる代替案を選択する」を満たす基数的効用関数 $u(x_i)$ が存在することを証明した. このとき意思決定者は

$$a \succ b \Leftrightarrow E_a > E_b, a \sim b \Leftrightarrow E_a = E_b \quad (4.7)$$

という規範にしたがって代替案を選択することを意味する. ここで, $a \succ b$ は「代替案 a の方が b よりも好ましい」ことを表し, $a \sim b$ は「 a と b の好ましさが無差別である」ことを表している.

くじ $l_a = (x_1, x_2, \dots; p_1, p_2, \dots), l_b = (x_1, x_2, \dots; q_1, q_2, \dots), \dots$ を, それぞれ代替案 a, b, \dots を選択したときに意思決定者が直面するくじを意味するとする. 今, くじ l_a の好ましさと, 確実な結果 x の好ましさが無差別であると考えるとき, x をくじ l_a の確実同値額という. このとき期待効用仮説より, 次の関係が得られる.

$$u(x) = u(l_a) = u(x_1, x_2, \dots; p_1, p_2, \dots) = \sum_i p_i u(x_i) \quad (4.8)$$

ここで, 結果の集合のうち, 最良の結果を x^* , 最悪の結果を x^0 とし, その効用値を

$$u(x^*) = 1, \quad u(x^0) = 0 \quad (4.9)$$

に正規化する. x^* が確率 p で現れ, x^0 が確率 $(1-p)$ で現れるくじを $\langle x^*, p, x^0 \rangle$ と表すと, 期待効用仮説より,

$$u(x) = u(\langle x^*, p, x^0 \rangle) = pu(x^*) + (1-p)u(x^0) = p \quad (4.10)$$

を得る. これらの関係式より効用関数を同定する.

しかし, 次のことに注意する必要がある. 今仮に, ある意思決定者が獲得できるお金 (単位は円) に対して

$$u(10000) = 1, \quad u(3000) = 0.5, \quad u(0) = 0$$

と答えたとする. $u(10000) - u(3000) = u(3000) - u(0) = 0.5$ という関係を得るが, 「所持金 0 円のときに 3000 円を得るのと, 所持金 3000 円のときに 7000 円を得るのとは同程度に好ましい」とは言えない. すなわち, $u(x)$ によって意思決定者の確実性下の選好強さを測ることは出来ず, あくまでもリスク下のくじの良し悪ししか測れない点に注意を要する.

価値関数 (Dyer et al., 1979; Keeney et al., 1993; 田村ら, 1997)

価値関数と言え、かつては序数的価値関数として、序数的効用を指す言葉として用いられてきた。しかし、Dyer et al. (1979) によって基数的価値関数の存在が示され、Keeney et al. (1993) によってその作成手法が述べられているので、以下では基数的価値関数をもって価値関数と呼ぶことにする。

今、結果 $x \in X$ が n 個の属性 X_1, \dots, X_n によって特徴付けられているものとする。また、

$$X^* = \{x_1x_2 \mid x_1, x_2 \in X, x_1 \succeq x_2\} \quad (4.11)$$

を $X \times X$ の部分集合とし、 \succeq^* を X^* 上の2項関係とする。ここで、 \succeq^* は X^* 上の選好強さを表し、

$$x_1x_2 \succeq^* x_3x_4 \quad (x_1, x_2, x_3, x_4 \in X, x_1 \succeq x_2, x_3 \succeq x_4) \quad (4.12)$$

は、「 x_2 に対する x_1 の選好強さ (x_2 よりも x_1 を好む度合い) は、 x_4 に対する x_3 の選好強さよりも大きい、等しい」ことを意味する。そして、 X, X^*, \succeq^* が正選好差構造をとると仮定すると、任意の $x_1, x_2, x_3, x_4 \in X$ に対して

$$x_1x_2 \succeq^* x_3x_4 \Leftrightarrow v(x_1) - v(x_2) \geq v(x_3) - v(x_4) \quad (4.13)$$

を満たす X 上の実数値関数 v が存在する。更に、

$$x_1x_3 \succeq^* x_2x_3 \Leftrightarrow x_1 \succeq x_2 \quad (4.14)$$

と定義することにより、

$$x_1 \succeq x_2 \Leftrightarrow v(x_1) \geq v(x_2) \quad (4.15)$$

を得るので、 v は X 上の選好関係をも表している。更に、正選好差構造を満たす v は正線形変換の範囲で一意である。この v のことを、基数的価値関数（以下、価値関数）と呼ぶことにする。

Keeney et al. (1993) によれば、価値関数は以下の手順で作られる。

1. 評価基準 x の変域を設定する。単調増加の価値関数を仮定すれば、 x の最小値 (x^0) に対応する価値 v の値が 0、最大値 (x^*) に対応する価値 v の値が 1 となる。
2. この x の変域内の点 x^m で、 $x^0 \sim x^m$ の変化と $x^m \sim x^*$ の変化の価値が等しくなる点（価値中点）を求める。これを尋ねる為には、最小値 x^0 と最大値 x^* を与え、「あなたが今 x^0 であるときに x^m の状態になることと、あなたが今 x^m であるときに x^* の状態になることが無差別となるような x^m を回答して下さい」という質問を行う。
3. x^m に対応する価値 v の値を 0.5 とする。
4. 同様にして x^0 と x^m の価値中点 $x^{0.25}$ を求め、 $v = 0.25$ とし、 x^m と x^* の価値中点 $x^{0.75}$ を求め、 $v = 0.75$ とする。
5. 順次同様に価値中点を求めていき、適当なところでこれらの価値中点を滑らかな曲線で結べば価値関数が得られる。

この流れを図示したのが、Fig.4.5 である。

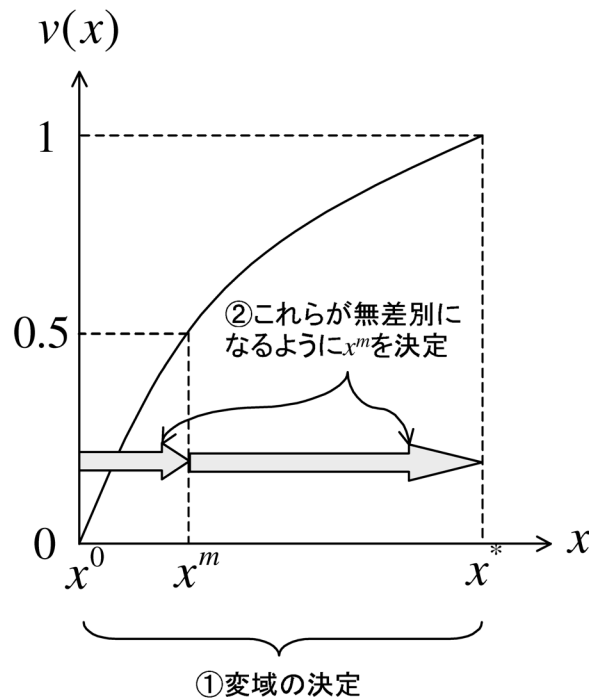


Fig. 4.5: 価値関数の作り方

効用関数と価値関数の違い

以上より、効用関数と価値関数の最大の違いは、前者はリスク下で意思決定を行うのに対し、後者は確実性下で意思決定を行うことである。つまり、代替案として得られる結果に確率概念が含まれるのが効用関数、代替案として得られる結果が唯一（確実）であるのが価値関数である（Fig.4.6 参照）。

4.1.2 効用関数と価値関数の問題点

上記で述べた効用関数や価値関数は、それぞれ数学的基礎は異なるものの、ある個人や集団にとっての好ましさを定量的に評価できるという点で本研究の趣旨に合ったものと考えられる。しかしながら、これらを複数のステイクホルダーに適用し、Table.3.1の目的関数の値 ω_{ij} として用いることには以下の問題が挙げられる。

1. 評価基準間の整合性の確認ができない
2. 関数形を決めるための質問が分かりにくい

まず1.について、開発や環境などの異なる評価基準間で整合性の取れた変域（最良値・最悪値）の決定ができないため、ステイクホルダー間の整合性のチェックが不可能である。例えばあるステイクホルダーにとっての評価基準の値の価値（効用）が0.5であるということと、他のステイ

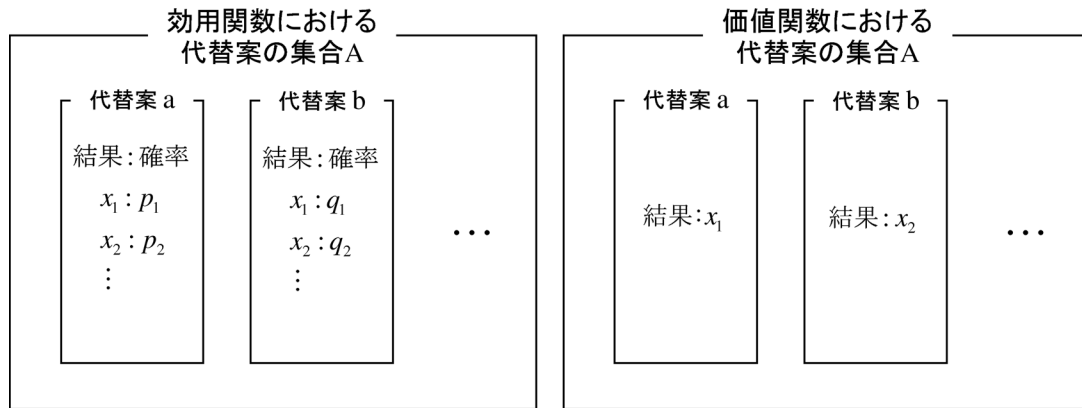


Fig. 4.6: 効用関数と価値関数における代替案の違い

クホルダーにとっての評価基準の値の価値（効用）が 0.5 であるということに差があるかどうかについてのチェックを行えないため、代替案の総合評価にも活用できない。

次に 2. について、効用関数であれば例えば、「あなたにとっての河川の最良の状態を x^* 、最悪の状態を x^0 としたときに、 x^* と x^0 がそれぞれ 50 % の確率で達成される代替案と $x^1 (x^* \leq x^1 \leq x^0)$ が確実に達成される代替案が無差別になるような x^1 の値を教えてください」という質問になるが、最良の状態と最悪の状態が半々の確率で達成される河川開発の代替案を想像することは回答者にとって困難と考えられる。また価値関数であれば、一つの価値中点 x^m を出すために、回答者は自分が x^0 であるときと x^m であるときという二つの状態を想像しなくてはならないが、これら二つの状態は自分が現在どのような状態に置かれているかということとは全く関係がないため、結果の信頼性に疑問が残る。

したがって本研究では、価値関数の「選好強さの差に基づいて構築する」という点は参考にしつつも、整合性の問題やアンケートの設計までも考慮に入れた「満足関数」というものを新たに定義し、これによってステイクホルダーの確実性下における選好強さを表現する。即ち、満足関数も価値関数と同様、評価基準の値 x_i を何らかの関数によってある価値量 s_i に変換するものである。

$$s_i = s_i(x_i) \quad (4.16)$$

なお以下では、この価値量 s_i を「満足度」と呼ぶことにする。

4.2 満足関数の構築

4.2.1 必要度の算出

ここでは、ステイクホルダー間で整合性の取れた満足関数を、「必要度」という概念の導入によって構築する手法について説明する。まず、各ステイクホルダーをその評価基準の値により複数のグループに分割する。次に、改善を必要とする度合いをグループごとに求め、最後にそれを用いて各ステイクホルダーの満足関数を、整合性を取った上で構築する (Table.4.7)。

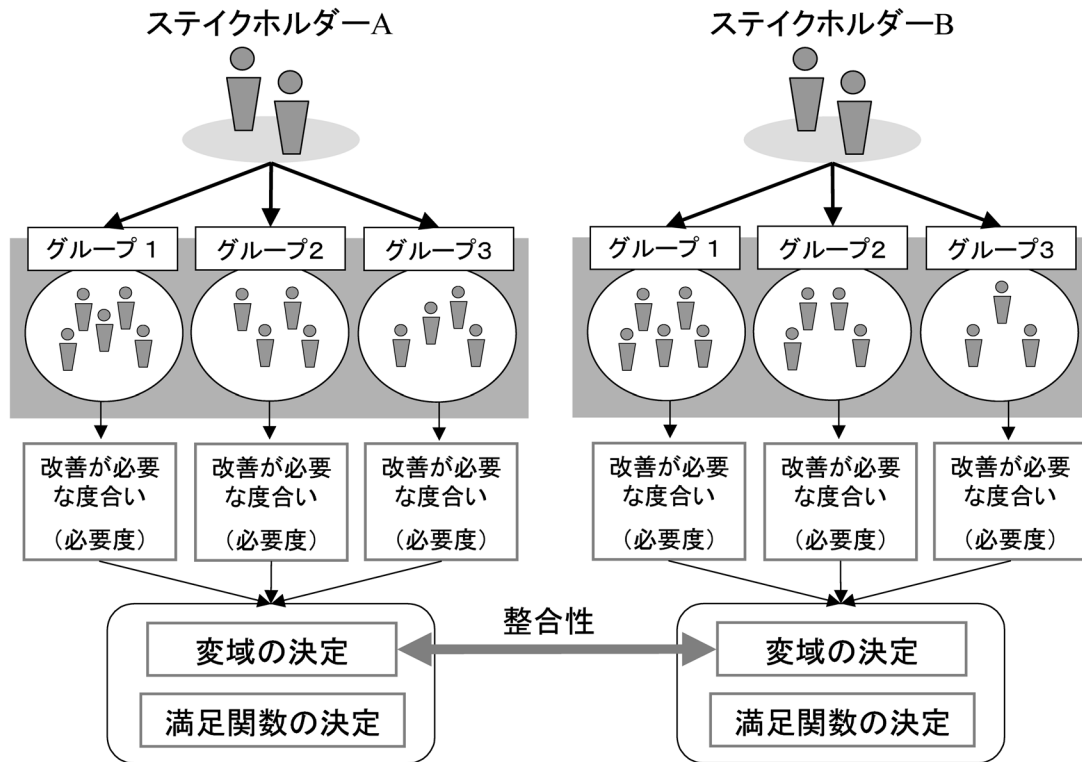


Fig. 4.7: 満足関数構築手法の流れ

ステイクホルダー内の「グループ」という概念の導入

同一のステイクホルダーではあっても、その便益や被害を受ける程度は人によって様々である。そこでまずステイクホルダーを、その評価基準に照らして異なる状態（評価基準の値）に置かれたいくつかのグループの集合体であると考え、また、満足関数 $s(x)$ は評価基準の値 x に対して単調増加であると仮定する。いまステイクホルダー $i (i = 1, 2, \dots, i_{\max})$ が有する評価基準の値を x_i と表す。またこのステイクホルダーを j_i 個のグループに分割し、グループ $j (j = 1, 2, \dots, j_i)$ の現在の状態（評価基準の値）を x_i^j （ただし $x_i^1 < x_i^2 < \dots < x_i^{j_i}$ ）として表す（Fig.4.8 参照）。

なおどのような基準で、いくつのグループに分けるのかは、現地調査やヒアリングに基づき、住民を含めた関係者で議論を行った上で最も妥当と判断される分け方を採用することが必要である。

必要度の定義

以下では、あるステイクホルダーの満足関数を「グループ」と「必要度」という概念から構築し、満足関数のステイクホルダー間の整合性について確認するという流れで説明する。したがってここでは、ステイクホルダー i が有する評価基準の値 x_i の最良値 x_i^0 、最悪値 x_i^1 が適切に決められているという仮定の下で話を進める。また、最良値を超える改善を望む人はいないと仮定する。

まず、あるグループにとって評価基準の値を上昇させることの必要性を「必要度」という指標で表し、これが現在の状態がどの程度であるのか、将来的にはどの程度であって欲しいのか、そ

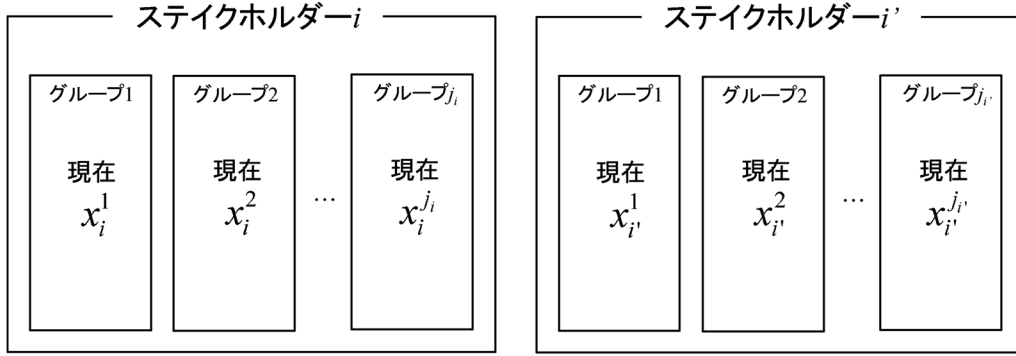


Fig. 4.8: ステイクホルダーとグループの関係

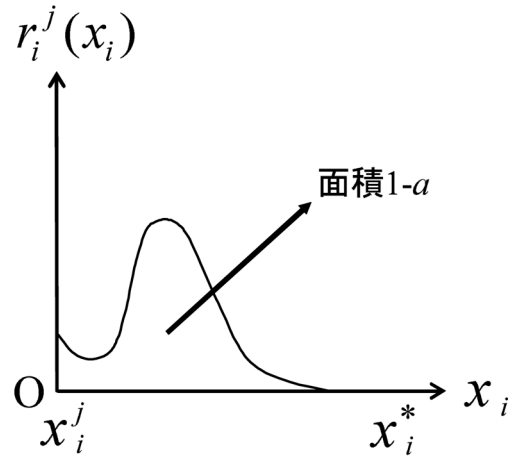


Fig. 4.9: 欲求とそれを望む人の比率（必要グラフ）

してそれを望む人はどの程度なのか，ということによって構成されるものとする．あるグループの評価基準の値の現状 x_i^j を原点に取り，横軸を将来的に望む x_i ，縦軸をその x_i までの改善を望む人の比率 $r_i^j(x_i)$ で表し，

$$\int_{x_i^j}^{x_i^*} r_i^j(x_i) dx_i = 1 - a \quad (4.17)$$

ただし $r_i^j(x_i) \geq 0$ ， a ：現状維持を望む人口比率

となるようにこの比率 $r_i^j(x_i)$ を決めるものとする．現状維持を望む人の比率が a いる場合は， $r_i^j(x_i)$ の面積は1より小さくなる（面積は $1 - a$ となる）．これをグラフで表したものが，Fig.4.9である（以後これを「必要グラフ」と呼ぶ）．

そして，あるグループの現在の状態が x_i^j であるときの必要度 $N_i(x_i^j)$ を，以下の式

$$N_i(x_i^j) = \frac{1}{x_i^* - x_i^j} \int_{x_i^j}^{x_i^*} (x_i - x_i^j) r_i^j(x_i) dx_i \quad (4.18)$$

ただし $x_i^* \geq x_i^j \geq x_i^0$

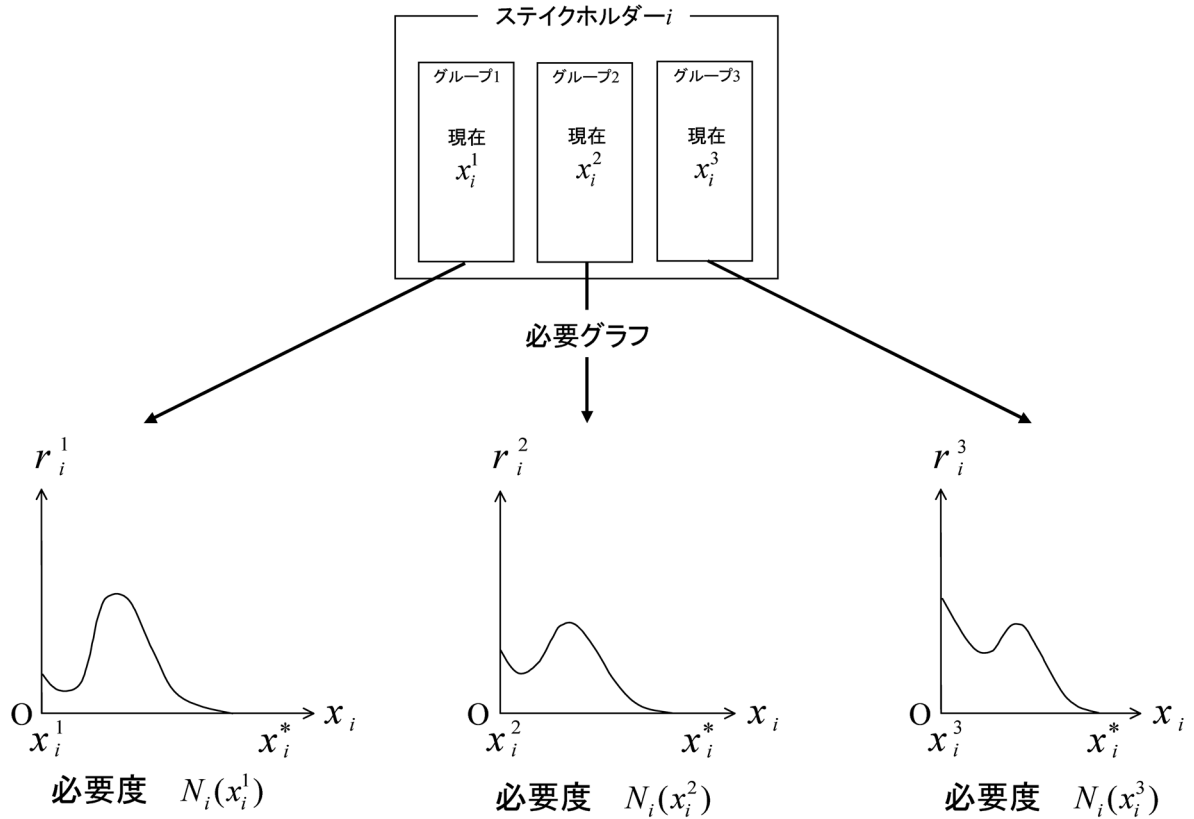


Fig. 4.10: グループ毎の必要グラフと必要度

で定義する．つまり必要度とは，現在の状態と必要とする将来値の差に，その将来値を必要とする人数の比率を掛け合わせ，最良値と最悪値の差で基準化したものであると定義する．この式 (4.17)，式 (4.18) を用いることにより，ステイクホルダーの評価基準 x_i の単位に関わらず，必要グラフの形状から「改善を必要とする度合い」を算出すること，すなわちステイクホルダー間の必要度の比較が可能となる．あるステイクホルダー内に 3 つのグループがあるとしたときに，それぞれのグループ毎の必要グラフと必要度の関係を図示したものが，Fig.4.10 である．

4.2.2 満足関数の構築

必要度と満足関数

次にグループごとの必要度を用いてそのステイクホルダーの満足関数を求める．満足関数は確実性下での選好強さを表すものであるため，Keeney et al. (1993) の価値関数と同様，選好強さの差に基づいて構築されなければならない．そこで，「 x^0 から x^m になることと x^m から x^* になることが無差別となる」ということを，「 x^0 から x^m になったときに必要性の満たされた度合いと， x^m から x^* になったときに必要性の満たされた度合いが等しくなる」と解釈することで，必要度と満足関数の関係を求める．

いま，「必要性の満たされた度合い」を「必要度の減少量」とするならば， x_i 上に任意の 3 点

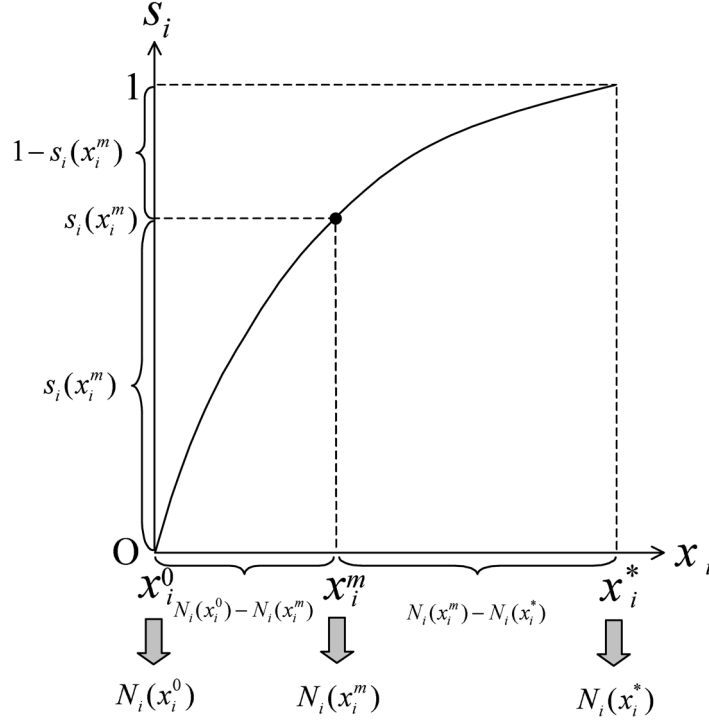


Fig. 4.11: 満足関数と必要度の比

x_i^l, x_i^m, x_i^n (ただし $x_i^l < x_i^m < x_i^n$ とする) を取ったとき, 「必要度の減少量が等しければ, その満足関数の値の差も同じ」であるので,

$$\begin{aligned} s_i(x_i^n) - s_i(x_i^m) &= s_i(x_i^m) - s_i(x_i^l) \\ \Leftrightarrow N_i(x_i^m) - N_i(x_i^n) &= N_i(x_i^l) - N_i(x_i^m) \end{aligned} \quad (4.19)$$

が成り立つ. 即ち, 満足関数の差が同じとなるような状態変化の例をいくつか取ってくれば, それらの間では必要度の差も同じとなる. これは Fig.4.11 において常に

$$\begin{aligned} s_i(x_i^m) : \{1 - s_i(x_i^m)\} \\ = \{N_i(x_i^0) - N_i(x_i^m)\} : \{N_i(x_i^m) - N_i(x_i^*)\} \end{aligned} \quad (4.20)$$

が成り立つことを意味する.

したがって, 満足関数と必要度の関係は,

$$s_i(x_i^j) = \frac{N_i(x_i^0) - N_i(x_i^j)}{N_i(x_i^0) - N_i(x_i^*)} \quad (4.21)$$

として表される (Fig.4.12 参照). 以上のことは, 必要度と満足量が一意の関係にあること, 改善に対する必要性 (必要度) が大きければそのグループにとっての満足量は低いということの意味する.

また必要度から満足関数を構築する意義としては, 必要度は各グループに固有な値として算出されるが, 満足関数は将来予測など現状が変化したときに必要性を感じる度合いがどのようになるのかを推測する関数であり, 0~1 に基準化される.

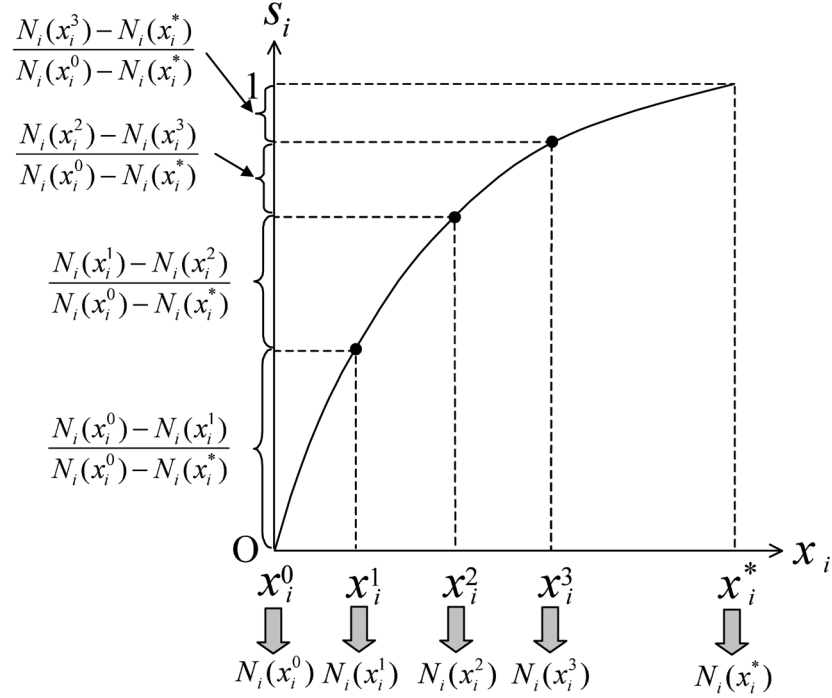


Fig. 4.12: 必要度と満足関数の関係

ステイクホルダー間の整合性

ここでは簡単の為に、ステイクホルダーが2種であるときを例として、以上で構築した満足関数の、異なるステイクホルダー間における整合性について考察する。

4.1においても述べたように、Keeney et al. (1993) の手法では構築された価値関数間での整合性の問題が生じる。そこで本研究では、必要度を用いてステイクホルダー間の整合性を図る。具体的には、ステイクホルダー間の整合性を「ステイクホルダー*i*の評価基準の値 x_i とステイクホルダー i' の評価基準の値 $x_{i'}$ に対する満足量が同じであれば、その点における必要度も同じである」と考えるならば、

$$s_i(x_i) = s_{i'}(x_{i'}) \Leftrightarrow N_i(x_i) = N_{i'}(x_{i'}) \quad (4.22)$$

が成り立たなければならないから、式 (4.21) より、

$$\begin{aligned} \frac{N_i(x_i^0) - N_i(x_i)}{N_i(x_i^0) - N_i(x_i^*)} &= \frac{N_{i'}(x_{i'}^0) - N_{i'}(x_{i'})}{N_{i'}(x_{i'}^0) - N_{i'}(x_{i'}^*)} \\ \Leftrightarrow N_i(x_i) &= N_{i'}(x_{i'}) \end{aligned} \quad (4.23)$$

となり、これは即ち

$$N_i(x_i^0) = N_{i'}(x_{i'}^0) \text{ かつ } N_i(x_i^*) = N_{i'}(x_{i'}^*) \quad (4.24)$$

を表す。言い換えると、 x_i と $x_{i'}$ の最良値と最悪値における必要度が等しければ、前述の意味での整合性は取れていると言える。最良値を超える改善を望む人はいないという仮定から、最良値

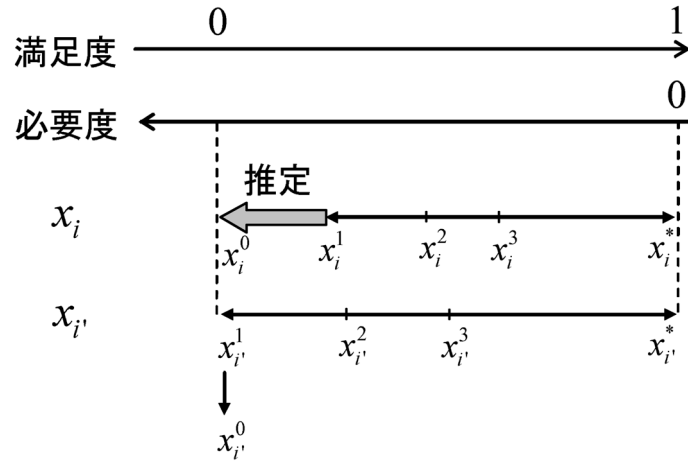


Fig. 4.13: 整合性の取れた最悪値の設定方法

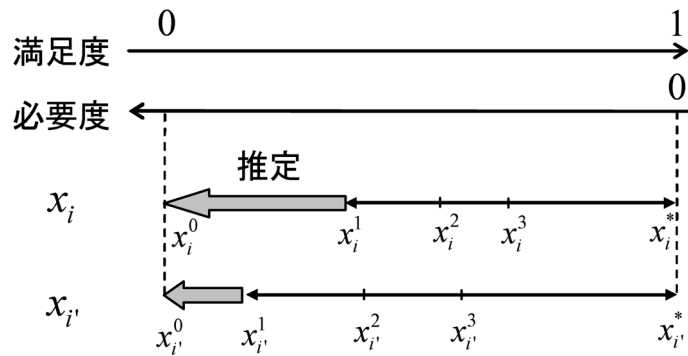


Fig. 4.14: 整合性の取れた最悪値の設定方法

のときの必要度は0となるので、最悪値における必要度が等しくなるように x_i と $x_{i'}$ の最悪値を設定すればよい。この最悪値の設定方法には以下の二通りがある。

1. 必要度が高いステイクホルダーの最悪値に、もう一方のステイクホルダーの最悪値を、必要度が等しくなるように合わせる (Fig.4.13 参照)。
2. 必要度が等しくなるような最悪値 $x_i^0, x_{i'}^0$ を新たに設定する (Fig.4.14 参照)。

ただし、この最悪値の設定によって代替案選択の結果が変わらないかどうかについての感度分析を行う必要がある。

この整合性の意味は以下のように解釈できる。すなわち、開発と環境といった別次元の要求を同じ土俵で議論するために、改善に対する必要性の強さを表す「必要度」を導入し、これが異なるステイクホルダー間で同じであればその満足度も同じであると考えていることを意味している。

アンケートを行う際の注意

必要グラフを作成するためには、アンケートを行うか、あるいはグループの状況に応じた必要性の違いを推定することが必要である。アンケートは「どの程度の改善を必要と考えるのか」を直接尋ねることになるが、改善に伴う他の評価基準への影響を考慮していないため、「どこまでも改善して欲しい」と回答される可能性がある。

しかしこれは、アンケートの聞き方によって一定回避されると考えられる。確かに、「他に全く影響がない場合、あなたはどこまで改善して欲しいか」と尋ねれば、「どこまでも改善して欲しい」と答えるかもしれないが、例えば「他に影響は全くないが、あなたはどの程度まで改善されれば我慢できますか」と尋ねたら、回答者は「最低限この程度であれば我慢する」という視点から答えると考えられ、プレアンケートなどにより質問を十分吟味しておく必要がある。

モデルの前提条件と限界

本研究で提案したモデルの前提条件と限界を以下にまとめる。

1. 満足関数は評価基準 x_i の上昇に単調増加でなくてはならない（必要度は評価基準 x_i の上昇に単調減少でなくてはならない）。
2. 現状よりも悪くてよいと考えるステイクホルダーの意向は反映できない。
3. 同じステイクホルダー内で必要度に違いがある、つまりグループを設定できることを前提としている。
4. 僅かな人が非常に大きな改善を望む場合には、必要度が不当に高くなる。
5. 必要度を尋ねる際の負の要素がない。

4.3 代替案の評価と合意形成への展開

4.3.1 代替案の評価

各ステイクホルダーの満足関数を構築できれば、代替案を設計し、ステイクホルダーに与える影響を Table.3.1 のように整理することで、第3章でレビューを行った理論を用いた代替案の評価が可能となる。

まずは、各ステイクホルダーに与える影響を見ることで、代替案の特徴を知ることができる。今、ステイクホルダー i のグループ j について、ある代替案をとったときの評価基準の値を x_i^j とすると、そのときの満足度は $s_i(x_i^j)$ で表される。またステイクホルダー i のグループ j に該当する人口を m_i^j 、ステイクホルダー i の満足度 ω_i がこれに属する個人の満足度からラプラス基準に

より表されると仮定すれば,

$$\omega_i = \frac{\sum_{j=1}^{j_i} m_i^j s_i(x_i^j)}{\sum_{j=1}^{j_i} m_i^j} \quad (4.25)$$

で表される. この式から複数の代替案による各ステイクホルダーへの影響を把握することで, 代替案の特徴やステイクホルダー間のトレード・オフ関係が明確になる.

次に代替案の総合評価と意思決定を行う場合には, 目的や得られる情報に応じて第3章でレビューした手法のうち適切な理論を用いればよい. 例えば単純加法的重み付けによる評価を行うならば, ステイクホルダー i に対する重み w_i より, ある代替案 A^+ は次のように選択される.

$$A^+ = \left\{ A_x \mid \max_x \sum_{i=1}^{i_{\max}} w_i \omega_i \right\} \quad (4.26)$$

ただし, $\sum_{i=1}^{i_{\max}} w_i = 1$

4.3.2 合意形成への展開

集団の合意形成と意思決定という場合, 共に集団として複数の選択肢の間に優先順位を定めること, あるいは様々な意見や考え方を一つに集約する問題として捉えることができる. しかし集団の合意形成という場合には, それを構成する小集団間の競合や意見の分散を小さくさせながら, 集団としての最終的な結論に至るまでのプロセスが強調される. 一方集団の意思決定という場合には, 集団の目的を実現する上での様々な方針, あるいは直面する問題を解決する為の解決法がもたらす効果や影響について分析検討し, 集団として選択すべき最適な方策を決定するという側面が強調される.

以上のような合意形成と意思決定の違いを踏まえた上で, 本研究における合意形成を定義し, これまでに提示した代替案の評価手法が合意形成やよりよい意思決定に資するための要件について考察する.

合意形成とは

「合意」という言葉を辞書で引くと, 「当事者の意見が一致すること」と説明されている. しかし河川開発と環境保全の間で鋭いコンフリクトが生じている事例では, 「当事者の意見が一致すること」は多くの場合望めない.

本研究では, 河川開発と環境保全のコンフリクト存在下における合意形成とは, むしろ妥協や歩み寄りによるものとする. すなわち「合意」とは, 元来個人が有していた評価基準の枠組みを緩め, 新たな評価基準から問題を見つめ直し, 他人の主義や主張に理解を示すことを意味し, 「合意形成」とは, その元で集団全体としての望ましい意思決定を目指していくプロセスであると定義する (Fig.4.15). 以上のように考えれば, 合意形成のためには, ステイクホルダーに他のステイクホルダーの価値基準を理解してもらうことが必要である.

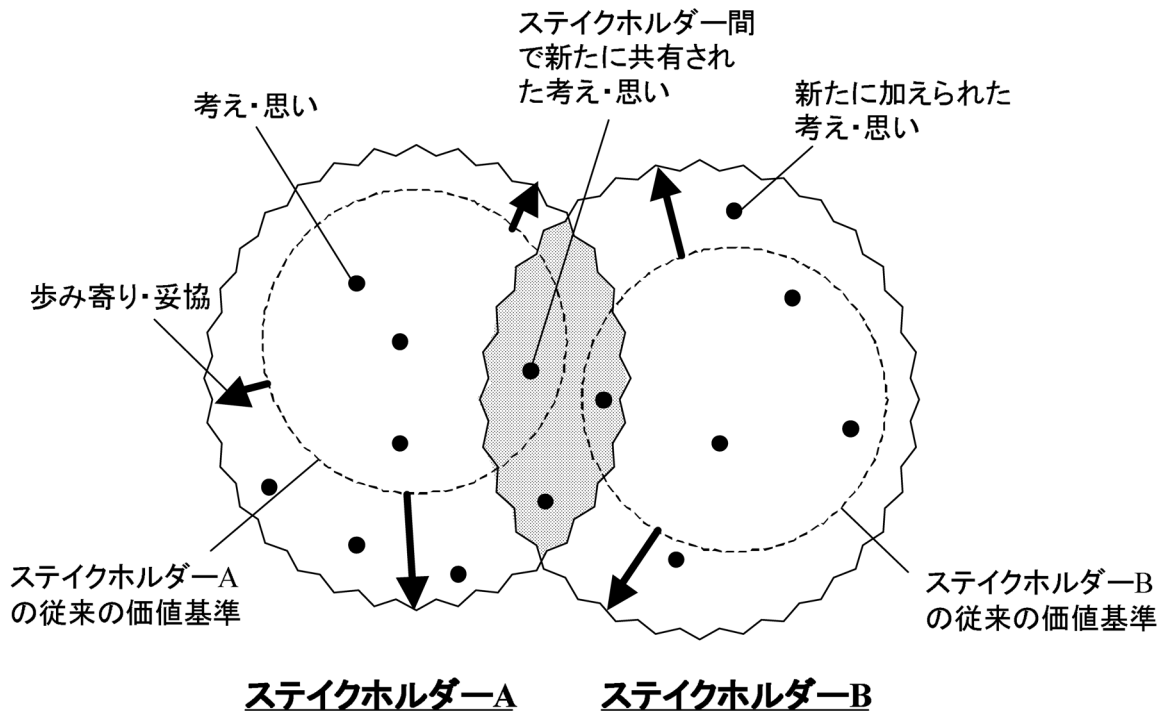


Fig. 4.15: ステイクホルダーの考え・思いと合意形成

合理的な意思決定

一方で意思決定を行うことのみを目的とすれば、第3章に挙げた様々な手法を活用することで、設定した前提条件下での一意の解を導くことができる。いずれの手法も、何らかの計算により一つの合理的な解を求めようとするものである。しかしながら、これらによって答えを求め河川開発計画の意思決定を行うことは、河川開発と環境保全のコンフリクト存在下においては、以下の3つの理由により適切ではないと考えられる。

一つ目の理由として、こうした意思決定はTOP-DOWNで行うべきではないことが挙げられる。長良川河口堰問題や吉野川第十関問題の事例では、開発か環境かという意見の相違がコンフリクトをもたらしたというよりは、むしろ住民に秘密裡に開発を行うことの意思決定がなされたことがきっかけでコンフリクトが生じている。そのコンフリクトの解消のために合理的な意思決定を提示しても、合意は形成されないだろう。

二つ目の理由として、上記の手法で導かれる合理性が限定的なものであることが挙げられる（限定合理性の問題）。いずれの手法においても、前提条件や対象範囲を変化させることで解をある程度任意に変化させることができ、また、どの手法を用いるのかによっても解が大きく変化し得るという問題がある。

三つ目の理由として、合理的な解は市民とのやり取りやその結果としての意識の変化により変化し得ることが挙げられる。永橋(2004)は、市民と行政による広場づくりや計画づくりの事例を通して、新しい地域のあり方や空間の形は、他のどこからでもない、その地域の中から市民・行政・専門家による様々なやり取りを経て見出されてくること、すなわち「答えはまちのなかにあ

る」ことを述べている。コンフリクトの解決においても、解を住民に与えることではなく、住民と共に解を見つけていくプロセスが重要である。

しかしながら、限定的な状況下でも合理的な解がどこにあるのかを知っておくことは、とりわけ行政などの政策決定者にとっては重要である。岡田(2002)は、「技術的な観点から合理性を諄々と説く専門家の役割もまた重要」で、「合理性の光をかざし、合理性の呪縛を乗り越える」ことが求められていると述べている。またゲーム理論的なアプローチについても、岡田(2002)は「ガラス箱の中の生き物のふるまいの子供観察館」パラダイム(モデル)と呼び、コンフリクトが当事者によって粛々と自主的にマネジメントされるような法定型運用システムの考案に役立つと述べている。

合意形成のために必要な情報

合意形成のためには、開発が自然・社会環境に及ぼすメリットやデメリット、調査や分析の不確実性などについて、関係者間で事実確認することが必要である。スタイニッツら(1999)は、開発や保全に関する代替案が様々な因子に与える影響を”Alternative Matrix”と呼ばれる表形式で整理し、ステイクホルダーが代替案のメリット・デメリットを多角的に眺め、意思決定のための有用な情報とする手法を考案している(Fig.4.16)。これは、当事者間で議論の前提を共有するのに役立つのみでなく、分析的、理論的なアプローチの結果を分かりやすく伝え、合意形成を促す役目を果たす。

日本でも事業の実施による重大な環境影響の回避又は低減を図るため、「戦略的環境アセスメント(Strategic Environmental Assessment: SEA)」の導入が図られている。2007年4月には環境省(2007)により「戦略的環境アセスメント導入ガイドライン」が取りまとめられた。この中では、影響評価にあたって

- 計画策定者等は、対象計画に応じた情報の公開や、公衆(地域住民や専門家)、地方公共団体、国(環境省)の関与を得て、評価の信頼性及び客観性等を確保すること
- 科学的な環境情報の交流のベースや意思決定の際に勘案すべき情報を提供することを目的に、SEAの評価結果を記した文書をわかりやすく作成すること
- 対象計画の目的を達成し得る実現可能な案として計画策定プロセスにおいて選定される複数案を対象に比較評価を行うこと

などの必要性が明記されている他、評価項目の範囲や選定方法、予測・評価の手法等について具体的に述べられている。

市民参画の方法

「市民参加」と「市民参画」の違いは様々に定義されているが、「市民参加」は最終的に行政や自治体によって行われる決定に市民が何らかの形で関わるという広義の意味で用いられるのに対し、「市民参画」はこの決定により積極的かつ協働的に加わることを意味する場合が多い。日本で

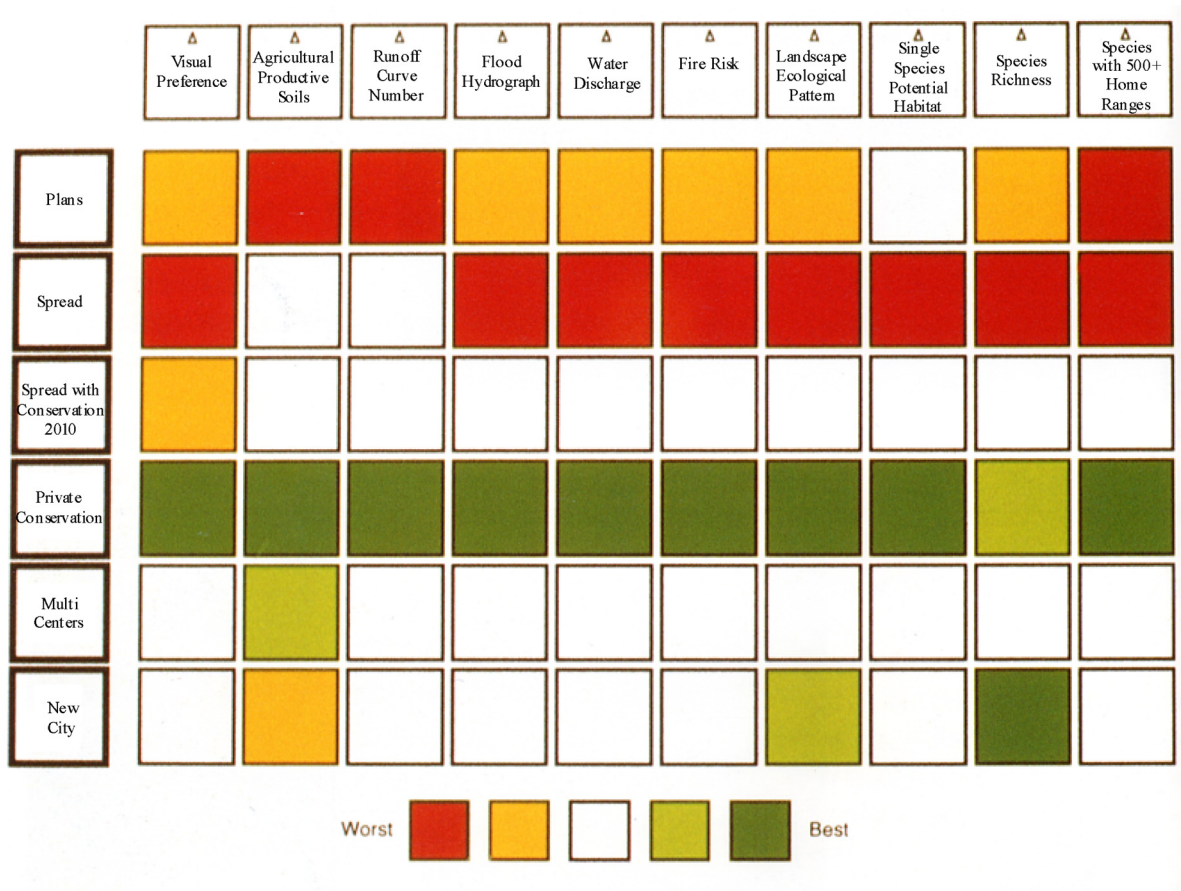


Fig. 4.16: Alternative Matrix の例 (スタイニッツら, 1999)

は市民は「市民参加」という形でしか関わりの持てないことがほとんどだが、欧米では「市民参画」を行うための制度や手法が充実している。

広域的なプロジェクトの計画・事業実施にあたっては、環境問題など利害を有する者の範囲を限定することが困難な場合や、技術的な側面での認識の違いが大きく、コミュニケーションそのものが困難で、当事者のみでは解決が難しい場合が少なくなく、ともすれば紛争状態になりかねない。こうしたケースに対応するため、例えば米国では、利害関係のない中立な立場にある者が当事者間の話し合いを支援する Assisted Negotiation という手法が定着している (桐山ら, 2001)。Assisted Negotiation は, Susskind et al. (1989) によると, Fig.4.17 に示す 3 つのフェーズに沿って実施される。

ここで重要となるのは、中立な立場にある者 (neutral) の役割である。この neutral は、その役目によって arbitrator や mediator, facilitator などと呼ばれ、米国では全米紛争解決協会 (National Institute for Dispute Resolution: NIDR), 紛争解決専門化協会 (Society of Professionals in Dispute Resolution: SPIDR), 米国仲裁協会 (American Arbitration Association: AAA) 等の全米レベルの機関だけでなく、州政府単位で整備されている紛争解決事務所、大学の紛争解決専門課程、紛争解決を扱う非営利団体など、公共紛争解決を支援する多くの組織がその斡旋を行っている。しかし日本ではこうした機関が圧倒的に少ないばかりか、交渉において neutral を置く

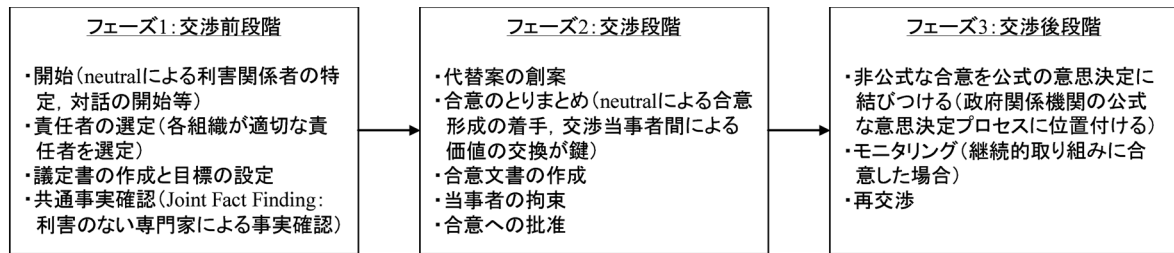


Fig. 4.17: Assisted Negotiation の進め方 (Susskind et al., 1989)

ことの必要性すらあまり認識されていないため、多くのケースにおいて行政と住民の間でディスコミュニケーションを引き起こす一因となっている。

また、Assisted Negotiation にはモニタリングや再交渉などの「交渉後段階」があり、「何かを決めたらそれで終わり」ではなく、その都度計画を見直し、改めていくというプロセスが内包されている（これを Adaptive Management と呼ぶ）。したがって、初めから様々な選択肢を考え、そのメリット・デメリットをシミュレーションしていくという姿勢が交渉前から交渉後に至るまでに必要である。

フェーズ1の“Joint Fact Finding”のプロセスに関しては、McCreary et al. (1999, 2001) が更に詳しい方法論を提案している。これは Independent Scientific Review process (ISR) と呼ばれ、利害のない専門家の助けを借りて共同で科学的な事実を確認するという Joint Fact Finding の一形態であるのみならず、住民参加の特別な形態であるとも考えられる。まずその方法についてであるが、

- ステイクホルダーが自身の意見を擁護する専門家を雇い互いに意見を戦わせ、議長（政府や裁判所、司法）が意思決定をするという”敵対科学法（Adversary-Science Method）”
- 専門家が情報を提示して議長（政府や科学的組織）が意思決定をするという”ブルーリボン審査法（Blue-Ribbon Panel Method）”

などと異なり、Fig.4.18 に示すようなステイクホルダー主導の委員会形式を取るため、より信頼できる結果を得られる。またそのプロセスについては、「ISR のためのスコーピングと準備」「ISR 専門家のリクルーティングと討議の準備」「ISR 専門家の討議と結果の提示」の3段階に分類し、それぞれにおいて必要となる具体的な手順が示されている。日本でもこうした取り組みの紹介が丁寧になされ、市民参画の方法論の検討や制度化に向けた取り組みが行われることが望まれる。

本研究で提案した手法の活用方法

以上より、本研究で提案した代替案の評価手法については、以下の手順で活用していくのが良いと考えられる。

1. 調査や分析、代替案の設計の段階を経て、まずは Table.3.1 や Fig.4.16 のような形で、代替案がもたらす影響やその大きさについて公表する。この際、アンケートなどの社会調査を実施して影響項目間に適当な重みを付け、合理的な解について把握しておくが良い。

ステイクホルダー主導の委員会

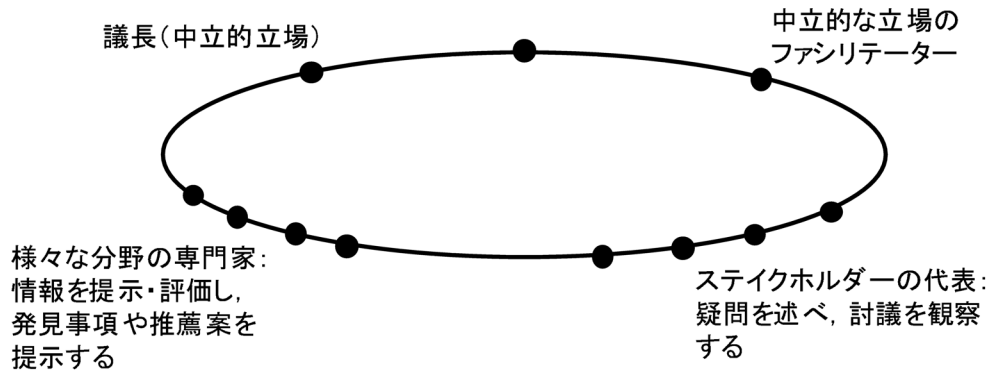


Fig. 4.18: ISR の方法 (McCreary et al., 2001)

- 公表した代替案評価をたたき台として、中立的立場の第三者を置き、Assisted Negotiation のフローにしたがって議論を進める。たたき台では考慮されていなかった代替案や影響項目を、関係者間で議論しながら追加したり修正したりすることで、Joint Fact Finding のプロセスを進める。
- 代替案評価の事実確認について合意がなされれば、次は影響項目間の重みについて議論する。参考までに、1. で調査した合理的な解について紹介しても良い。ここでは重みについて関係者間の合意を取るというよりも、重みの変化によって選択される代替案がどのように変わるのかを共有し、歩み寄りのきっかけを見つけることが目的となる。
- 以上のプロセスを踏まえ、代替案選択についての合意形成と意思決定を行う。

第5章 吉野川第十堰問題におけるコンフリクト

第5章と第6章では、第4章で提案した代替案の評価手法を実際のコンフリクト問題に適用し、その有効性を見る。本研究ではその事例として、河川開発と環境保全の間で鋭いコンフリクトが生じ、住民投票や独自の代替案の提案などで注目を浴びたが、現在もなおステイクホルダーが協同して解決に向けた議論を交わすことなく平行線を辿っている吉野川第十堰問題を取り上げる。本章ではこの問題のコンフリクトについてその経緯をまとめ、合わせて社会調査を実施することで、その特徴とコンフリクトの要因を明らかにし、吉野川第十堰問題を事例の対象とすることの意義について述べる。

5.1 吉野川第十堰問題の経緯

可動堰建設計画と市民運動のはじまり

吉野川の河口から約14kmの地点に、旧吉野川への分流と塩水遡上防止を目的とした固定堰である第十堰（Fig.5.1）が建設されたのは、今から約250年前の1752年である。1982年に改定された吉野川工事実施基本計画の中でこの第十堰の改築が明記され、翌年には老朽化、せき上げによる洪水流下阻害、深掘れによる堤防の危険性などの理由からこの堰を取り壊し、そこから約1.2km下流に可動堰を建設する計画が具体化された。この可動堰建設計画は治水と利水を目的としており、1991年に特定多目的ダム法に基づく開発事業に指定される。

市民が第十堰の改築計画を知ったのは、1992年、委員名、審議内容とも非公開の第十堰改築環境調査会の存在が新聞記者によってリークされたからである。「一体何の環境調査会なのか？」という疑問を解き明かす作業が、市民グループの活動のスタートになった。そして1993年、徳島市の住民らが中心となって、計画への疑問提起と世論喚起を目的とした「吉野川シンポジウム委員会」が結成された（Nagahashi et al., 2002）。

同会は結成直後から、可動堰の是非を問うシンポジウムを数多く開催する。シンポジウムには、専門家や研究者だけでなく開発主体である建設省の担当者も招かれ、公開討論を行うという方式で進められた。これは本運動の原点であり、この運動理念は一貫して保持されることになる（帯谷, 2004）。

ダム審議会の設置

国の直轄事業である一級河川の整備については、一切地元の意見を聞く必要はないとされてきたが、1995年の長良川河口堰強行運用開始への批判が強く、全国のダム建設に与える影響を考慮

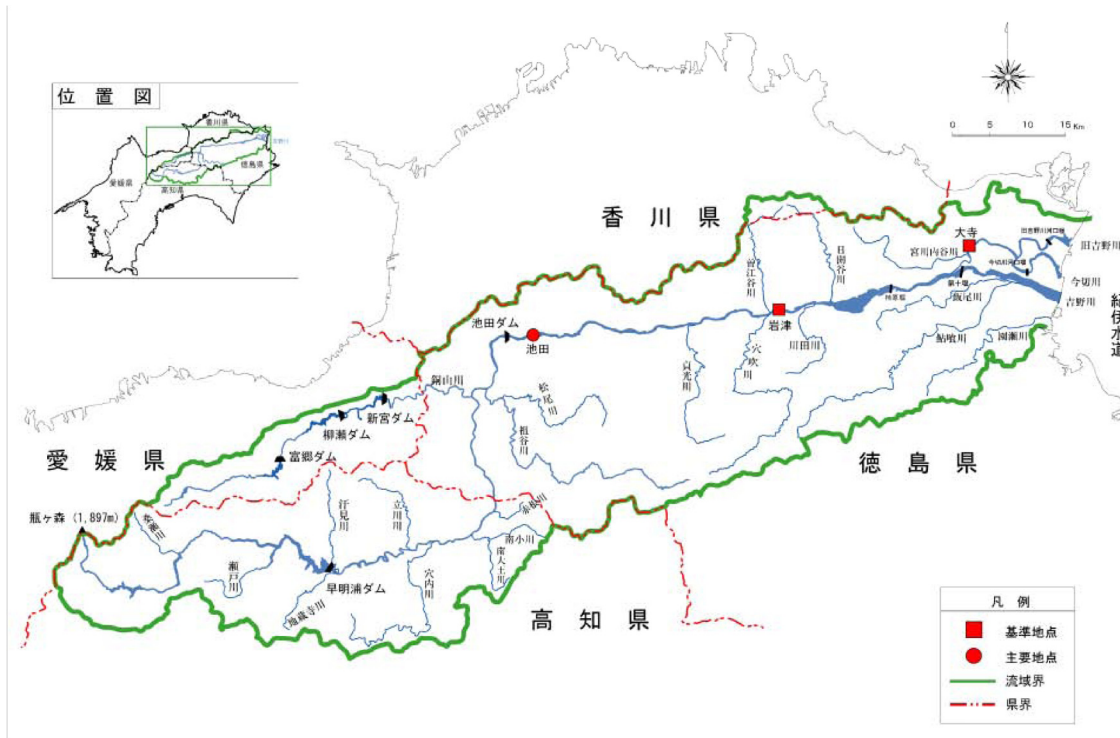


Fig. 5.1: 吉野川流域図（国土交通省，2005）

し、ダム計画のある地域には、地元の声を聞く場としてダム審議会が設置されることになった。同年、吉野川でも第十堰建設事業審議委員会が設置される。

「地元の声を聞きダム計画の検討をはかる」ことが目的の審議会だが、ここでは、ダム建設そのものは是非は問わず、ダム建設を進めるよりよい方法について地元の声を聞く、という大きな枠組みが設定されていた。委員は、県知事による任命で、流域市町村長、県議会議長、学識経験者といった人々である (Nagahashi et al., 2002)。

このメンバーの人選をめぐる建設省と自然保護団体、市民グループが対立した。議論の公開を求める県民世論の高まりに押される形で、第3回会合から10人に限り一般傍聴を認める方針に転換し、1997年3月以降は別室でモニター傍聴できるようになった（「青の革命と水のガバナンス」研究グループ，2006a）。

また吉野川シンポジウムのメンバーは、建設省に、このダム審議委員会で討議をさせてくれるよう要請し、数回の討論会が実現した。市民のメンバーは討議の場で、せき上げによる水位計算など計画に関する技術的な疑問を建設省側に投げかけたが、第十堰が河道に対して斜めに位置したいわゆる「斜め堰」であるために、計算の前提条件が建設省側と市民側で異なるものとなった。学識経験者の間でも意見が割れたが、結局せき上げの計算については工学的安全側の計算結果である建設省側の計算結果を採用する。

審議中の1997年には、建設省が当初の主要目的の一つであった水源開発（利水）を事業目的から外し、可動堰計画そのものの必要性に対する疑念がさらに高まった。しかし1998年、ダム審議会では14回の委員会と3回の公聴会、2回の技術評価報告会を経て、「可動堰案は妥当である」とい

う答申を行う。

徳島市の住民投票

この結果について、吉野川シンポジウムのメンバーは「せっかく参加させてもらって疑問を提出し、技術的な論争の中で、可動堰の計画の根拠の希薄さを明らかにしてきたのに、審議会では、はじめから可動堰推進の結論が決まっていた、『話は聞いた』というアリバイづくりのために、自分たちの行為は使われた」という思いを強くしたという。そして「本当の民意がどこにあるのか、はっきりさせよう。民意を問おう」というモチベーションの下、「第十堰住民投票の会」が結成され、可動堰推進の是非を問う住民投票の制定を求める署名活動を1998年の秋に展開した(Nagahashi et al., 2002)。

徳島市と藍住町で住民投票を求める直接請求署名が開始され、徳島市で10万1535人（有権者の48.8%）、藍住町で9663人（有権者の43.6%）分の署名が集まり、それぞれの議会に対して住民投票条例を制定するよう請求したが、徳島市議会、藍住町議会の双方で否決された。しかし、その後4月の徳島市議選挙で、住民投票を支持する候補22名が当選し、議会の過半数を占め、議員提案により同6月、住民投票条例が制定された。その後、住民投票実施派は、「投票率が50%を下回ると開票せずただちに焼却処分する」という「50%ルール」を飲み、同12月に「2000年1月23日を投票日とする」期日条例案が市議会において全会一致で可決された(帯谷, 2004)。

一方で可動堰建設推進派の33団体は、1999年8月に「第十堰・署名の会」を結成し、同12月には31万6003人分の署名を集め、反対派に対抗した。さらに事業推進派による投票ボイコットや中山建設大臣（当時）の「住民投票は民主主義の誤作動」発言にも関わらず、住民投票の投票率は55.0%、反対票は投票総数の91.6%にあたる10万2759票を数えた。

しかしこの住民投票は、徳島市民を対象として行われた。第十堰付近の堤防決壊により被害を受ける可能性のある地域は徳島市、鳴門市など二市六町にわたるが、氾濫地域とされる二市六町の人口約12万人のうち、徳島市は約3万4000人（約28%）となり、住民投票の結果から第十堰のあり方を決めるのは適切ではないとの批判もある(高橋, 2000)。

建設省によって設置された吉野川懇談会

住民投票が実施された翌月、建設省は、第十堰問題を含む吉野川における参加と対話の方法に関する提案を行うこと、対話の場の実現に向けて働きかけることを目的とした「明日の吉野川と市民参加のあり方を考える懇談会 第十堰から始める新しい川づくり」（通称：吉野川懇談会）を開催し、可動堰に反対した複数の市民グループへの参加を呼びかけた。

懇談会は2001年3月までに14回開催されたが、どの市民グループも参加を拒否した。市民グループが、建設省のいう「対話」のテーブルにつかない大きな理由として、可動堰計画が前提となっており、話し合いの場としてふさわしくないと考えられたことが挙げられる。また2000年8月には、与党が「現在の可動堰計画を白紙に戻し、新たな計画を策定する」よう政府に勧告し、可動堰計画が一層困難なものとなった。

一方で、徳島県民の意見は決して一枚岩とはなっていない。第10回懇談会において、県内各種団体へのアンケートや訪問により、話し合いの場や問題解決の方法について調査が行われている。

それによれば、早急な解決が必要な問題であり、共通のテーブルで話し合うことの必要性は多くの団体が認めているが、可動堰反対派の言うように可動堰計画をはじめから除外することには疑問であり、無条件で議論することが前提との意見も出ている(明日の吉野川と市民参加のあり方を考える懇談会, 2001)。

市民グループによる脱可動堰に向けた代替案の検討

懇談会と平行する形で、先に述べた中心的な市民グループ「吉野川シンポジウム」を母体に「吉野川第十堰の未来をつくるみんなの会」(以下、「みんなの会」, 2002年5月からNPO法人として活動するようになる)が結成され、2000年4月より脱可動堰に向けた代替案づくりを展開しはじめた。2001年5月にはみんなの会の委託を受け、森林生態学や河川工学、行政法、地盤工学等の13人の専門家による「吉野川流域ビジョン21委員会」が結成され、代替案づくりが本格的に始まった。

本委員会の研究テーマは主に以下の2点である。

1. 「千年もつ河川技術」として第十堰の積極的保全策をまとめること
2. 「緑のダム」とよばれる森林の洪水防止機能を科学的に検証すること

社会的関心を広げるため委員会の議論は公開でおこなわれ、国土交通省や徳島県、徳島市など行政にも参加を呼びかけた。緑のダムや第十堰保全に批判的な専門家にもオブザーバーとして参加してもらい、同じ場で議論をした。またデータ資料の収集や現地調査のため、国への情報公開請求が精力的におこなわれ、「緑のダム」を実証するための3年間で28カ所444ポイントの現地調査には、延べ数百人の市民たちが手弁当で参加し、地元自治体や林業関係者の協力も得た(姫野, 2004)。

問題は「緑のダム」の調査や解析などに必要とされる研究予算3,200万円であった。みんなの会は2000年9月には代替案づくりのための基金を集めるための運動「第十堰基金」をスタートさせ、助成金や徳島市からの補助金なども得て、2004年3月、「吉野川可動堰計画に代わる第十堰保全案と森林整備事業案の研究報告書」として研究成果を取りまとめた(吉野川流域ビジョン21委員会, 2004)。この中では、

1. 第十堰について、部分的に補修を要する箇所はあるが、治水・利水上の問題から第十堰を全面改築する必要性は認められないこと
2. 調査結果を踏まえてタンクモデルによる解析を行った結果、森林の治水機能の変遷を踏まえれば旧建設省が算定した基本高水流量 $24,000\text{m}^3/\text{s}$ (岩津地点) は過大であり、今後森林整備を行えば150年に1度の洪水に対しても新たなダム建設は必要ないこと

を述べている。

しかし特にこの「緑のダム」の研究については、多くの研究者から批判を浴びる。例えば国土交通省は

1. 治水計画は、森林の保水機能を前提に計画されている

2. 森林は、中小洪水に一定の効果を有するものの、治水計画の対象となるような大雨の際には、森林域からも降雨はほとんど流出することが観測結果からも伺える

などとし、必要な治水機能の確保を森林の整備のみで対応することは不可能であるとしている(国土交通省河川局, 2007)。熊本県の川辺川ダム建設計画や長野県における脱ダム宣言などとも呼応して、「緑のダム」を巡る研究が急ピッチで進み、以降新たな知見が得られてきている一方、学説の定まらない事項もいまだ残されている(蔵治, 2006)。

市長選・知事選と市町村合併

第十堰改築や可動堰建設を巡る動きは、選挙の動向にも大きな影響を与えた。1993年に初当選し計3選された円藤徳島県知事は、当初より可動堰建設を推進していたが、2002年に収賄容疑で辞職すると、市民グループなどが後押しをし「可動堰完全中止」を掲げた大田知事が当選した。その後不信任決議により退陣するが、次に選ばれた飯泉知事も可動堰建設反対を掲げた。1993年より徳島市長を勤めた小池氏も、当初は可動堰計画を推進し、住民投票にも否定的だったが、徳島市の住民投票の結果を受け、「可動堰には徳島市として反対する」ことを表明する。2004年小池市長の辞任に伴う市長選でも、やはり可動堰反対を掲げた原氏が当選を果たした。このように、可動堰反対は選挙の争点にはならなくなっている。

また2004年より吉野川上・中流域市町村を中心に進められている市町村合併が今後の第十堰を巡る議論に影響を与える可能性がある。1990年に吉野川流域2市8町の首長、議長でつくる「第十堰建設促進期成同盟会」が結成され、住民の生命を守るべく活動を進め、可動堰の建設を推進してきた。住民投票や与党の可動堰白紙撤回勧告を受けて、同会も可動堰の白紙化を受け入れたが、会自体は解散されてはいない。またかつて吉野川流域の17市町村は議会の意見として、可動堰を推進していたときもある。2006年より吉野川水系河川整備計画の「吉野川流域市町村長の意見を聴く会」の中で、吉野川の河川整備に関する意見聴取が行われているが、堤防整備など早急な治水対策を望む声が多く、今後の第十堰のあり方に関する市町村の意見が注目されている。

吉野川水系河川整備基本方針の策定

1997年の河川法改正を受け、2001年より河川の整備計画制度の見直しが始まった。具体的には、これまで工事实施基本計画で定めている内容を、河川整備の基本となるべき方針に関する事項(河川整備基本方針)と具体的な河川整備に関する事項(河川整備計画)に区分し、後者については、具体的な川づくりが明らかになるように工事实施基本計画よりもさらに具体化するとともに、地域の意向を反映する手続きを導入することとしている。

吉野川水系においても2005年に「社会資本整備審議会河川分科会」及び「河川整備基本方針検討小委員会」が開催され(各2回開催)、同年、吉野川水系に係る河川整備基本方針が策定された。この最大の焦点は、みんなの会が学識経験者らの協力を得て提言した「吉野川可動堰計画に代わる第十堰保全案と森林整備事業案の研究報告書」の内容がどこまで盛り込まれるかということであったが、「治水計画の対象とするような集中豪雨と中小降雨とでは流出形態が異なり、中小降雨の観測データをもとにした同報告書の見方は誤っている」などの理由から基本高水流量 $24,000\text{m}^3/\text{s}$ (岩津地点)は踏襲され、第十堰についても「治水上支障となる既設固定堰については必要な対策

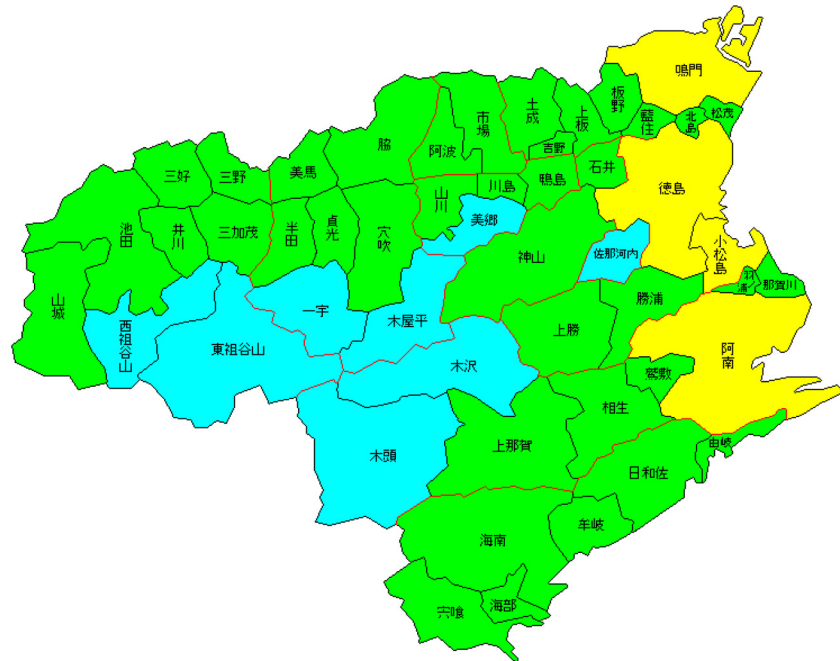


Fig. 5.2: 徳島県市町村図（～2004.9.30）

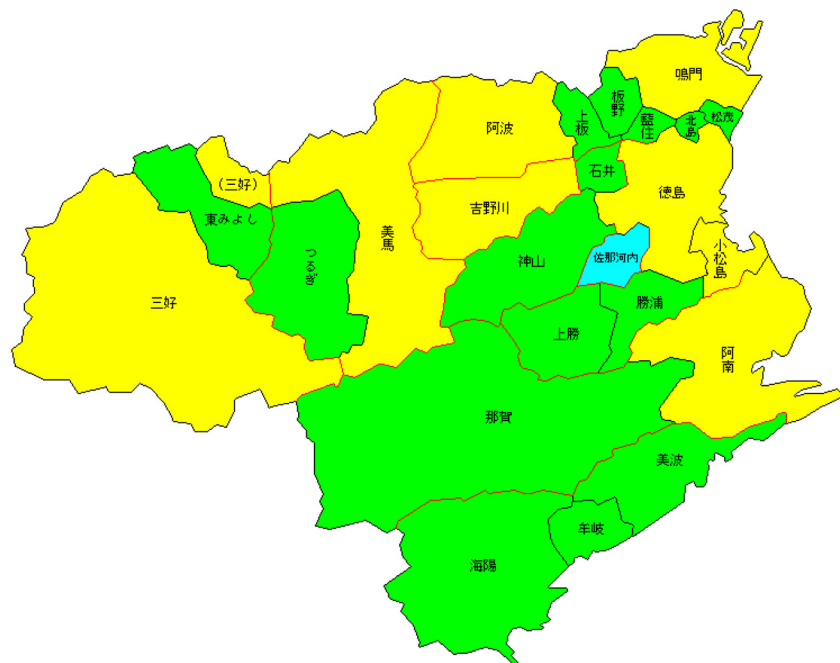


Fig. 5.3: 徳島県市町村図（2006.3.31～）

を行い、計画規模の洪水を安全に流下させる」という表現が取られた。基準地点岩津の計画高水流量についても既定計画と同様に $18,000\text{m}^3/\text{s}$ とされ、既設5ダムにより約 $3,000\text{m}^3/\text{s}$ の調節を、残り $3,000\text{m}^3/\text{s}$ については、既設ダムの操作ルールの変更、利水容量や堆砂容量等の治水容量への活用等による既存施設の徹底的な有効活用を図り、不足する調節量については、洪水調節施設の整備が必要と明記された(国土交通省河川局, 2005)。

みんなの会の代表はこれに対し、「住民の議論を全く知らない委員がそれを無視して基本方針を作った。13年前に戻ったようだ」とコメントした。またビジョン21委員会の委員の1人(行政法)は、「河川整備基本方針にも住民を入れて議論すべきであり、現在の河川法は改正する必要がある」と批判した。

吉野川水系河川整備計画策定に向けて

河川法第16条の2に規定する趣旨に基づき、全国の1級河川の約半数においてこれまで流域委員会またはそれに類するものが設置されてきている。2001年に近畿地方整備局によって設置された淀川水系流域委員会は、委員選定にあたって一般からの公募を行ったり、議論を尽くし情報を徹底的に公開するなど、これまでにない審議方式で進め、大きな評価を受けた(反面、時間とコストをかけすぎたという批判もある)。一方で住民参加や情報公開が徹底されていない流域委員会も見受けられ(「青の革命と水のガバナンス」研究グループ, 2006b)、吉野川水系河川整備計画策定に向けてどのような流域委員会が設置されるのか注目されていた。

これに対し、2005～2006年にかけて、みんなの会と学識経験者を中心とする研究グループがそれぞれ四国地方整備局に要望書・提言を提出した。いずれも、準備委員会の設置や委員の選定方法、運営方法などについて意見を述べたものであるが、後者のグループの提言では議論の内容や進め方などについても詳細で踏み込んだ提案がなされている(「青の革命と水のガバナンス」研究グループ, 2006a)。

しかし2006年5月に四国地方整備局によって発表された「吉野川水系河川整備計画の策定に向けて」では、

1. 吉野川河川整備計画を「吉野川の河川整備(直轄管理区間)」(但し、抜本的な第十堰の対策のあり方を除く)と「抜本的な第十堰の対策のあり方」の2つに分けて検討し、各々の検討の内容・進捗状況を勘案して、河川整備計画を策定すること
2. 「吉野川の河川整備(直轄管理区間)」(但し、抜本的な第十堰の対策のあり方を除く)については、流域委員会を設置せず、「学識経験者からの意見聴取」「流域住民の方々からの意見聴取」「関係市町村長からの意見聴取」を別々に行うこと
3. 「抜本的な第十堰の対策のあり方」については、これまで検討してきた可動堰以外のあらゆる選択肢についての検討・評価をすべく、まずは、戦後最大規模となった2004年の洪水についての分析をはじめとして必要な基礎調査を行い、その後、それらの結果を踏まえて検討・評価すること

とされた(国土交通省四国地方整備局, 2006)。意見聴取にあたっては中立のファシリテーターを置くなど新たな取り組みも見られるが、住民と対話するのではなく意見聴取を行うという方式にみんなの会などは批判している。

5.2 第十堰や河川環境に対する住民意識の社会調査

第十堰問題のコンフリクトの構造を明らかにするためには、5.1 で述べた事実経緯だけではなく、そうした社会的な動きには直接関与していないが第十堰や周辺の河川環境に深いつながりを持つ人の意識についても把握しておく必要がある。そこで第十堰や河川環境に対する住民意識を調べるための社会調査を行った(村上ら, 2002)。本節では、その内容について述べる。

吉野川では、水資源としての恩恵を受ける農工業従事者、現在の固定堰（第十堰）を親水空間として利用する人々、地元に住む古老、新しく引っ越してきた人々、第十堰の保全に強い関心を持つ市民など、様々なステイクホルダーが存在する。そしてそれぞれが、河川環境のあり方に対する共通の経験や意識、願望、もしくは相反するそれらを有していると考えられる。

そこでまずは、徳島市市街地に居住し、第十堰の今後のあり方や吉野川の流域管理に強い関心を持つ市民グループに、吉野川との関わりのライフヒストリー（特に、利用とその場所の子どもの頃の記憶や現在の利用）、そして現在の第十堰の利用に関するヒアリングを実施した。市民として積極的に活動するこのグループは、吉野川の流域保全や第十堰の今後のあり方を考える上で、重要なステイクホルダーの一つであると考えたからである（これを「市民グループに対する調査」と呼ぶ）。

また、第十堰周辺、特に南岸の二地区は、かつては地域住民が防災や農業などの様々な活動を通して河川改修や堤防管理に関わり、また普段の洗濯や井戸端会議などの生活の場として、人々の生活と河川空間とが密接に関わっていたことが明らかになっている。したがって歴史的に川との関わりが深い吉野川第十堰周辺地域、すなわち徳島市国府町佐野塚と名西郡石井町第十においても、かつての川との関わりを知る人々に対する調査を行った（これを「第十堰周辺住民に対する調査」と呼ぶ）。

5.2.1 市民グループに対する調査

吉野川と第十堰の今後に強い関心をもつ市民グループに対して、2002年7月17日に、河川との関わりについてのグループヒアリングを行った。内容としては、五万分の一の地図を用いて、生まれたところ、現在住んでいるところ、子どもの頃に川と関わった場所をマッピングし、さらに、現在の川とのかかわりのある場所についても地図に記入してもらった。次に、現在、かかわりが最もあるとされた第十堰周辺について、五千分の一の地図を用いてその利用の仕方や意識をヒアリングし、地図上に視覚化した。

ヒアリングで作成された地図を Fig.5.4 に示す。ヒアリングを行った市民グループは、凧揚げ大会やライブ、キャンプ、食事など、必ずしも水に直接関与しない利用を含め、現在でもカヌー、写真撮影、釣り、魚介類採取など、多様な利用を行っていることが明らかになった。また「今でも水はきれい」と言う人がいるなど、現在の環境に対して肯定的な意見が多く見られた。

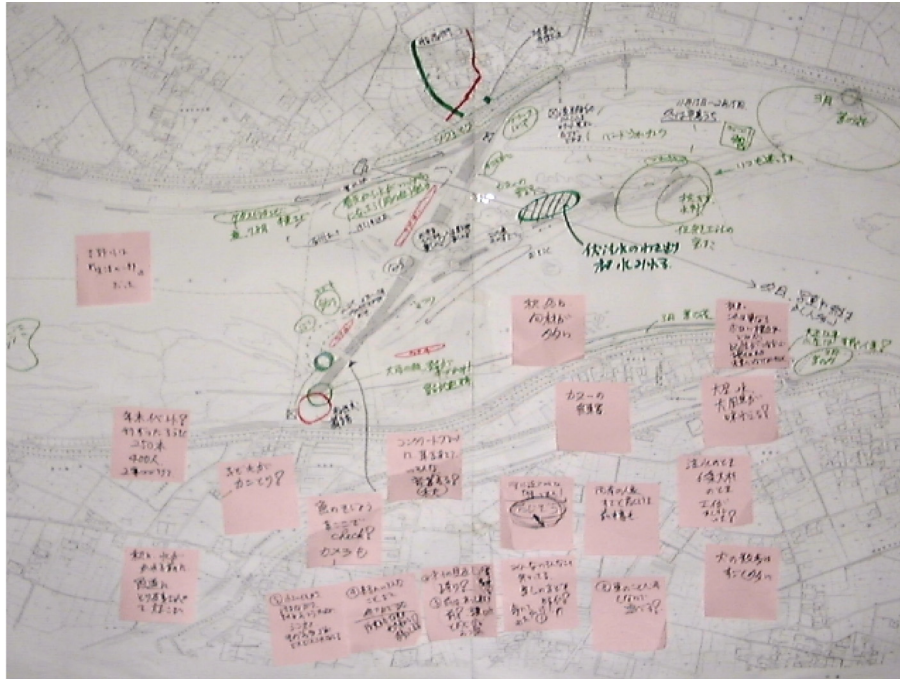


Fig. 5.4: 市民グループに対する調査結果

5.2.2 第十堰周辺住民に対する調査

アンケートの概要

対象地の佐野塚は、徳島市国府町の最西北に位置し、吉野川第十堰のすぐ下流南岸に広がる世帯数 66、人口 269 人（1995 年時点）の村で（1891 年の戸数は 123、人口は 668 人）、肥沃な土地を利用した農業が盛んで、現在は、ほうれん草、野沢菜、枝豆などの野菜や酪農、稲作などの多角経営が進む。第十は、第十堰南岸の直近に位置する集落で、世帯数 44、人口 239 人（1995 年時点）、やはり肥沃な土地を利用した多角的農業地域である。1892 年、1898 年、1914 年には、両地域とも大洪水を経験している。

地元の総代および役員からの紹介を受けて佐野塚および第十でヒアリングを実施し、また地元町会を通じたアンケートを実施した。その内容は、（1）川を古くから知る人々の記憶にある昔の利用と関わり、（2）今の川の利用と関わり、（3）昔、今の川に対する意識とその環境の変化（例：水質、水量、生物、景観、利用形態、河川伝統技術、護岸等の河川整備、等）に対する意識、などである。また、ここでも地図を用いて、昔利用した場所および現在利用する場所を地図上に示してもらい、視覚化した上で、環境変化に対する意識をうかがった。アンケート調査の具体的な項目は、Table.5.1 に示す通りである。

アンケートの結果

調査は 2003 年 3 月～5 月にかけて実施し、今回の調査の趣旨として、少なくとも 40 年前の吉野川や第十堰の姿を知っている人に聞かなくてはならないことから、主に 60 歳以上の方に回答を

Table. 5.1: 予備調査から決定したアンケート本調査の内容

項目		内容
回答者の属性		性別, 年齢, 居住歴, 家族構成, 職業, 役職
昔の関わり	利用	思い出深い年齢, 出かけた頻度, 交通手段, 誰と行ったか, 具体的な関わり (魚介類・のりとり, 土手滑り, 洗濯, 水防団など), 川でとったもの (魚の名前)
	思い出	具体的な思い出を最大3つ挙げてもらい, そのときの気持ちを述べてもらう. 場所については1934年旧版地図にシールで示してもらう.
今の関わり	利用	思い出深い年齢, 出かけた頻度, 交通手段, 誰と行ったか, 具体的な関わり (魚介類・のりとり, 土手滑り, 洗濯, 水防団など), 川でとったもの (魚の名前)
	思い出	具体的な思い出を最大3つ挙げてもらい, そのときの気持ちを述べてもらう. 場所については1996年の地図にシールで示してもらう.
意識		今昔の環境と環境の変化に対する意識を自由に述べてもらう.

お願いした。結果的に、回収されたアンケートは佐野塚で各家庭の世帯主22名分、第十では6名分であり、回答者としては男性が多く（86%）、農家の人が最も多かった（54%）。各集落の世帯数と比して（佐野塚66，第十44）アンケートのサンプル数は少ないが、当時は第十堰問題に対して地元住民が敏感であり回収が少なくやむを得なかったこと、また統計的な考察を行うことが目的ではなく、市民グループと第十堰周辺住民の認識のおよその違いを把握することが目的であることから、本調査の結果を以下の考察に利用することとする。

「川との関わりにおいて思い出深い年齢」については、10歳代（中でも小・中学校時代）を挙げた回答者がほとんどであった。次に昔と今の川に行く頻度の比較においては、その思い出深い年代においてはほとんどの回答者が「ほとんど毎日」もしくは「週に数回」を選んだのに対して、現在については「年に数回」もしくは「全然行かない」を選んだ回答者がほとんどであるというように、川との関わりにおいて大きな変化が見られる。同様の傾向は利用形態の変化においても見られ、かつて行われていた水防団、土手の管理、洗濯、牛の放牧などは現在に至っては全く行われていない。しかし一方で、「魚介類・のりとり」については現在もなお継続して行っている方が多いことが分かった。

また今昔の環境と環境の変化に対する意識について、得られた回答をKJ法でまとめたのが、Fig.5.5である。ダム建設が水温・水質・水量に影響を与え、それがひいては下流における魚の減少や植生の変化に影響を与えた、という地元住民の中の意識構造が浮かび上がった。また、バラス（砂利）の採取による河原の消失、護岸整備や堤防の整備といった物理的な河川空間の改変

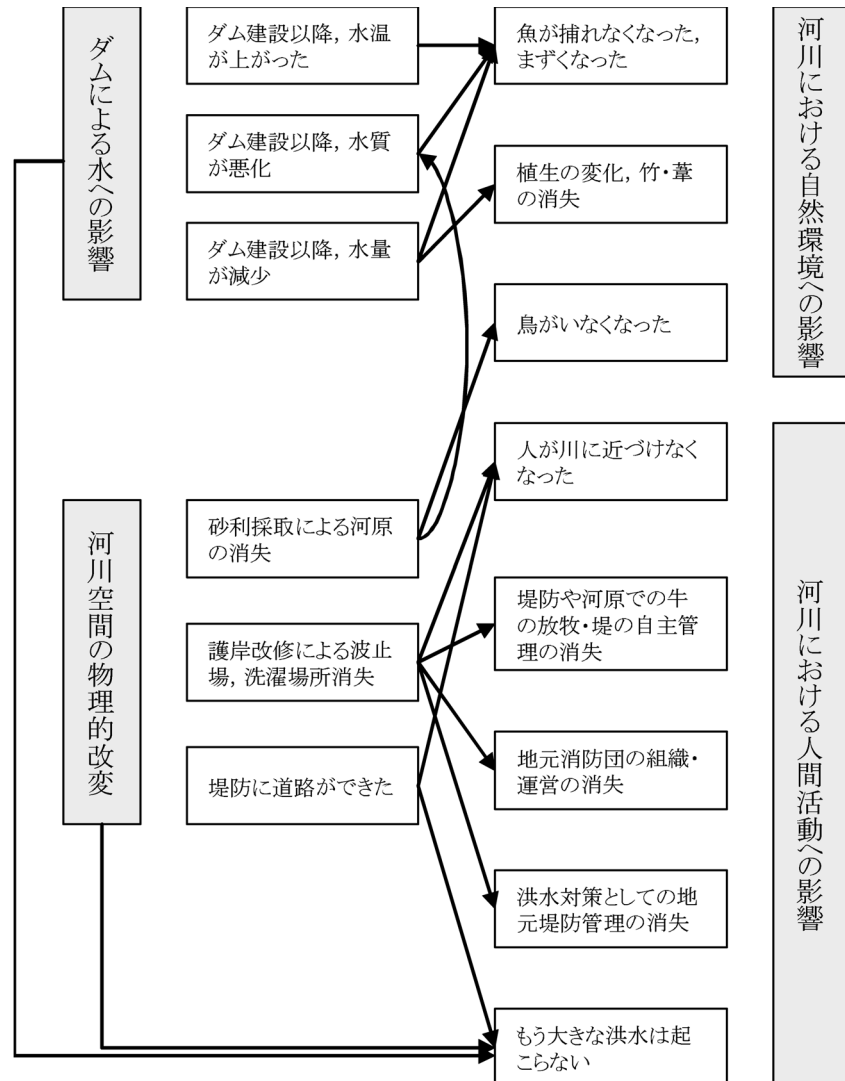


Fig. 5.5: 今昔の環境と環境の変化に対する意識

が、川へのアクセス（河原での遊びだけでなく、洗濯場所がなくなることによる河原での井戸端会議など）、堤防での活動（放牧だけでなく、青年団や地元による自主管理や防災活動）を消失せしめた、という意識構造も浮かび上がった。総じて、昔と今を比べると、現在の状況に対する批判的意識が強い。さらに、ダムの建設や堤防の強化によってもう洪水は起こらないと思っていること、堤防に道路ができたことにより、川へのアクセスが困難になったと感じていることなどが挙げられた。

さらに、昔と今の関わりを地図にプロットしてもらった結果からは、第十堰周辺の空間の変遷（村上ら、2004b）が利用に影響を与えてきたことが分かる。

「昔の利用」場所をプロットしてもらった地図（Fig.5.6）によれば、河原や護岸などの水際での親水活動や、土手での活動（放牧、遊び、原焼き、草刈り）が行われてきた。しかし、これら水際活動を受容する空間は、バラスの採取や護岸整備、堤防改修、堤防への道路設置などによりその姿を消し、水辺という空間を消失させたのではないかと考えられる。

一方で「今の利用」としてやはり地図にマッピングしてもらった地図（Fig.5.7）を見ると、かつてはなかった第十堰本体へのアクセスが増えている。今でこそ、第十堰に越流がないのは見慣れた光景だが、かつては「水量も多かった」という声もあるように、第十堰の越流は激しく、堰本体で遊んだと答えた人はいなかった。

以上より、第十堰を巡り、河原などの接水空間が消失した代わりに、越流が減少したことが幸いして、第十堰が、新しい接水空間として機能していることが考えられる。言い換えれば第十堰が、数少ない水際空間として、水へのアクセスを確保する空間として現在は機能していると考えられる。

5.2.3 両調査結果の比較と考察

以上の2つの調査から、市民グループが、地元住民とは異なる利用の仕方や新しい意義付けをしていることが分かった。具体的には、様々な空間の改変が第十堰周辺の環境に影響を及ぼしたと考え、利用の機会を減らしてきた地元住民と比較して、市民グループは昔とは異なる利用を行い、現在の環境を享受していることが明らかになった。

ここで重要なのは、同じ空間なのに地元住民および市民グループという2つのステークホルダーに利用面および意識面においての違いがあること、そして何より、その違いをお互いに知らないということである。地元住民は、徳島市内の市民が、第十堰への関心から新しい活動や利用を展開していることを知らないし、一方、徳島市内の市民グループは、昔の川の構造や利用の仕方を知らない。この違いを互いに知らないままに合意形成のプロセスに投げ込まれても、そもそも共通の情報を有しておらず、合意形成には至らないことが示唆される。

5.3 吉野川第十堰問題の特徴

以上より、吉野川第十堰問題のコンフリクトの特徴は以下のようにまとめられる。

運動の方法

市民グループが進めた運動の方法について、まず第一の特徴として、市民グループは可動堰建設に対して反対するために運動を始めたのではなく、「みんなで決めよう」を合い言葉に計画決定プロセスへの市民の関与を求めたことが挙げられる。例えばダム審議会に対しては、傍聴と公開討論を求め、独自の計算を元に計画根拠への疑問を呈した。この点が、長良川河口堰のように反対ありきで活動者を集めていった反対運動とは異なる。

第二に、徳島市において住民投票という市民が意見を表明する公的なプロセスが実施されたことである。公的な事業の是非について住民投票が行われた事例は、1997年に岐阜県御嵩町で産業廃棄物最終処分場の建設に関して実施されたものなどわずかであり、全国的にも希有な例である。

第三に、専門家との密な協力により理論的な反論を繰り広げたことである。長良川河口堰や川辺川ダムなど、近年のダム・堰反対運動の多くは専門家の力を借りているが、吉野川第十堰問題では13人もの専門家を組織し、市民グループの活動に批判的な専門家も入れ、行政にも参加を呼

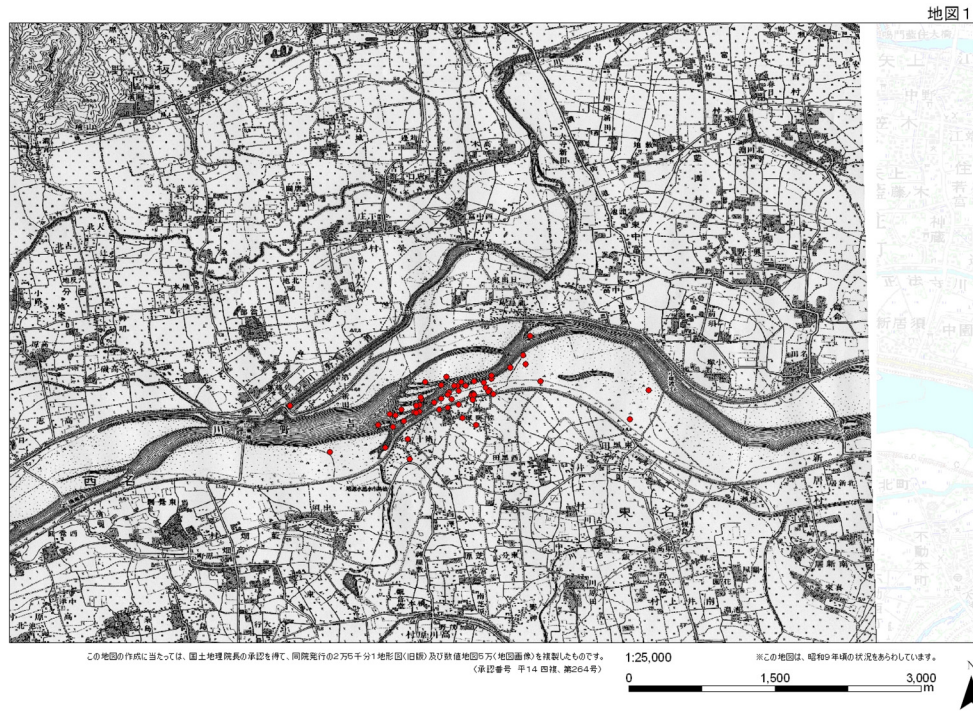


Fig. 5.6: 昔の利用場所プロット結果

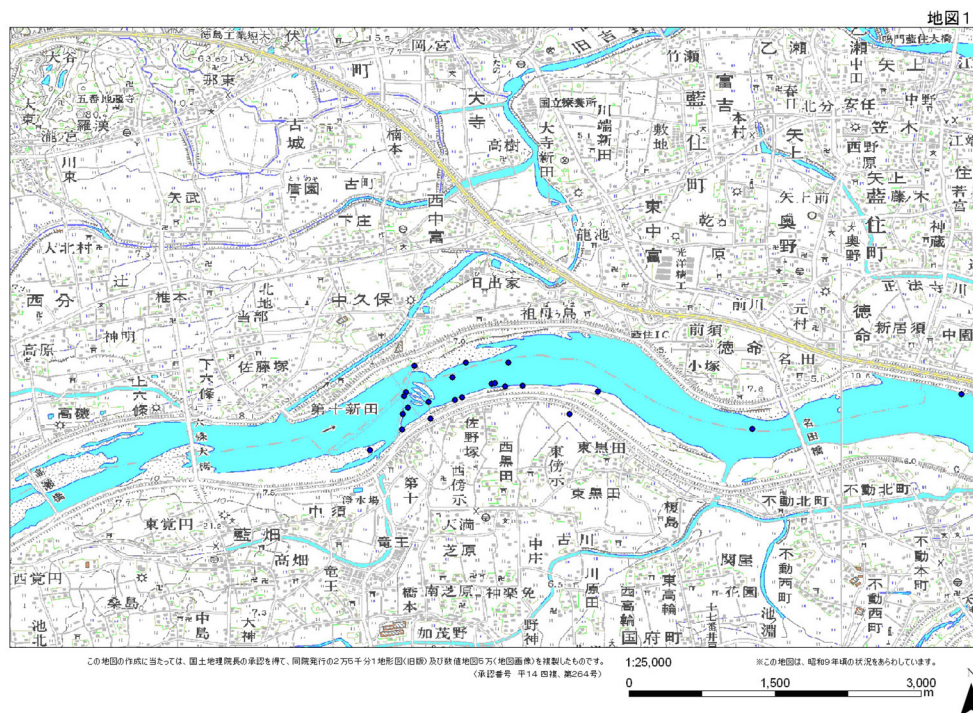


Fig. 5.7: 今の利用場所プロット結果

びかけることで、議論の透明性や信頼性を高める工夫をした。また専門家が行う調査・分析の莫大な費用を募金や助成金などでまかなったという点も特徴的である。

反対の根拠

市民グループが掲げた反対の根拠について、大きな特徴は、基本高水に代表される治水の計画論への反論を行ったことである。それまでは水需要量予測に対する反論やダムそのものに対する反論は見受けられたが、「緑のダム」というキャッチフレーズを掲げ、森林の機能を考慮した計算方法を提案した最初の反対運動であったと考えられる。これ以降の反対運動に関しては、川辺川ダムや長野県の脱ダムなど同様の論拠が用いられている例も多い。

また行政の計画について反論を述べるのみならず、代替案を検討して提示したという点もそれまでにないものであった。治水に関しては、森林整備により基本高水ピーク流量を抑えられ可動堰が不要であることを示し、また堤防補強を行うことでより確実な洪水対策が実施できると述べた。堰の形状や構造についても公開の場で議論がなされた。

さらに吉野川第十堰問題固有の特徴として、可動堰建設に際して第十堰の撤去が前提となっており、反対の一つの論拠となっていることが挙げられる。約 250 年前に建設された第十堰は当時の石積みの固定堰からは風貌を大きく変えてきたが、それでもなお市民ら愛着を持たれ様々な利用のなされていることが明らかとなっており（5.2；6.2.3 参照）、河川開発により文化が喪失するという側面を有している。

吉野川第十堰を取り巻く状況

吉野川第十堰を取り巻く状況として、流域自治体の態度変化が一つの特徴として挙げられる。計画当初は推進派であった徳島市や徳島県も、世論を受けて現在は可動堰に反対する立場を取っており、さらに徳島市は市民グループの提示した代替案を市として公式に認めている。長良川河口堰の利水のように自身の自治体に特段のメリットが認められない場合には計画に反対することはあったが、市民の意見を受けて自治体が態度を変えるケースは、他には川辺川ダムの相良村など数少ない。

吉野川第十堰問題を対象事例とすることについて

以上のように吉野川第十堰問題はそれまでに類を見ない特徴を有しており、その後の反対運動はこれに倣うものが数多く現れている。しかし吉野川第十堰問題はいまだ解決に至っておらず、ステイクホルダー間でコンフリクトの存在する状態が続いている。吉野川第十堰問題について考察し、今後の合意形成の道筋を見いだすことは、日本国内で頻発する反対運動に対しても有用な知見を得られると考えられる。

5.4 吉野川第十堰問題におけるコンフリクトの要因

吉野川第十堰問題においてコンフリクトの生じた要因は、大きく以下の3つに分類される。

(1) 技術論における違い

可動堰の建設や第十堰の保全など計画の代替案を検討するにあたっては、それらが治水や利水、環境に与える影響を評価するが、その評価の技術論の違いがコンフリクトの一つの要因となっている。特に洪水時の水位計算や基本高水の計算において国と市民グループの間で意見が異なり、その結論次第で第十堰に関する計画が決まることから、激しい議論が繰り返された。

まず計画高水流量が流下したときの第十堰周辺の水位計算について、第十堰が河道に対して斜めに位置した「斜め堰」であるために、一次元の不等流計算において第十堰をどのように見るか、建設省側と市民グループ側で異なるものとなった。また模型実験（移動床によるもの）や模型実験と一次元不等流計算を組み合わせた方法のいずれにおいても危険水位を上回ったと建設省は説明したが、後に市民グループ側の情報公開請求に基づいて出された資料によると、1994年に非公開で行われていた模型実験（固定床によるもの）では危険水位に達しないという結果が出ていたことが明らかになっている。

また基本高水の計算においては、森林の治水機能をどのように盛り込むかで建設省側と市民グループ側のアプローチが異なった。建設省は貯留関数法により基本高水流量の算定を行ったが、市民グループ側は時代ごとの森林の変遷を明示的に考慮し、タンクモデルにより時代に合わせたモデルを構築することで基本高水流量の算定を行った。しかしながら浸透能・保水力が森林の状態で異なるために基本高水流量が異なると主張し、また調査の結果を概念モデルであるタンクモデルのパラメータに関連付けて計算したこと、「森林の浸透能は治水計画の対象となるような大雨よりも一般に大きく、基本高水流量には影響しない」などとして多くの研究者などから批判を浴びた。一方で最近、森林における浸透能が従来定説とされてきたものよりもずっと少ないことが明らかになり（恩田ら、2007）、今後その成果を治水計画としてどう活かすかが注目されている。

(2) 対話に対する姿勢

建設省は当初、第十堰建設事業審議委員会を非公開で進めた。途中より限定的な傍聴や市民グループとの数回の議論を行うことができたが、市民グループの納得を得ないまま「可動堰は妥当である」との結論が出された。これに強い不信感を抱いた市民グループは徳島市での住民投票を成功させるが、その後市民グループは、可動堰NOを前提としない話し合いの場には参加しないという姿勢を貫いたため、可動堰推進派と反対派の溝はさらに深まる。吉野川水系河川整備計画の検討に当たっても、市民グループらが提案した流域委員会方式を取らず、国土交通省は学識経験者、流域住民、関係市町村長から別々に意見聴取するという形を採用したため、全てのステイクホルダーが議論しあう共通の場は設置されていない。

(3) 問題に対する認識の違い

河川の計画を立てる際、治水や利水、水質、生態系への影響など、定量化しやすく調査の行いやすい項目については検討されるが、その川に対する流域住民の思いや親水の側面は考慮されないことが多い。住民投票にまで発展した過程においても、運動を指導してきたリーダーは「川が遊び場やったし、水が走り風がそよぐあの広いところへ行ったら、いつも心が洗われました。私たちを育ててくれたこの川の運命が、自分たちの手の届かないところで決められていくということに耐えられなかったんです」と語っており(今井, 2000), 治水や利水以前に吉野川や第十堰に対して特別な思いのあることが伺える。

一方で、第十堰の存在が日々の仕事に密接に関連する農家の人たちの意見は異なる。吉野川土地改良区の住民は「第十堰が切れると旧吉野川に水が来なくなり、堤防がきれると水浸しになる。」「第十堰の見学を行い、現堰は余り持たないと感じた。可動堰の必要性は明白であり、やめるのは県にとってもマイナスになる。今の状態はきれいで、見ているにはよいが、そのままでは飯が食えなくなる。第十堰があるから、この地域は農業ができていますが、年々荒れてきており、いつまで持つのか心配している。」と述べ(明日の吉野川と市民参加のあり方を考える懇談会, 2001), 利水のための第十堰改築の必要性を訴える。

また5.2では、地元住民の「昔」と「今」の河川利用および河川に対する意識の比較を行った。「昔」の利用については、共通の経験を共有していることが明らかになった。そこでは、河原や護岸、土手など、今は失われてしまった空間での出来事が多く、それゆえ、現在の河川の状況に対する批判的意識は強い。このように「物理的な河川空間の改変が人々の川での利用や意識を変える」という構造が、河川環境の変化に対する認識構造から明らかになった。一方、徳島市内の市民グループの意見を見ると、実は、近年では、第十堰での凧揚げ大会やライブ、写真撮影など、昔とは異なる新たな利用がなされていることがわかる。また、地元の人々が「吉野川の水は汚くなった」という認識をしていることに対して、下流都市街地に住む市民は、「水はきれい」という認識を示しており、さらに第十堰周辺に対する評価として「大空と水、大風景が楽しめる」という指摘など、地元住民の人以外の人びとは、地元住民とは異なる吉野川や第十堰の利用の仕方や新しい意義付けをしていることがわかる。国土交通省徳島工事事務所による「よりよい吉野川づくり第1回アンケート」(2002年に実施)において第十堰が「吉野川で大好きな場所」の第3位に選ばれたり、国土交通省「四国のみずべ八十八ヵ所」(2003年発表)に選ばれたことも思い起こされる(村上ら, 2002)。

このように、主体間で着目する観点が異なり、また従来の計画論でそれが評価されない場合には、議論はすれ違いを見せるばかりとなる。

吉野川第十堰問題の解決のために

今後のコンフリクト解決方法として、(1)に関しては、4.3.2で述べた Joint Fact Finding により議論の論点を整理し、科学的な究明を行っていくことが有効である。(2)に関しては、本来であれば計画立案当初から4.3.2で述べた ISR によりラウンドテーブルでの議論を行っていくべきであったが、ステイクホルダー間の溝が深まってしまった今、全てのステイクホルダーが、お互いの立場を超えて何とか議論しあう共通の場づくりに向けて行動を起こしていくしかない。

一方で(3)に関しては、これまで吉野川でも十分取り組まれることがなく、ステイクホルダー

間のコンフリクトがなくなる大きな要因となっていた。そこで次章では、ここでの調査結果も踏まえて各ステイクホルダーの認識の違いを定量的に表現し、合意形成に向けた一つのツールとして活用することについて検討する。

第6章 吉野川第十堰問題における代替案の評価

6.1 吉野川第十堰問題におけるステイクホルダー

本章では、第十堰を取り壊し可動堰を建設する計画について、第4章で提案した満足関数構築モデルの適用を行い、「現状維持」と「可動堰建設」という2つの代替案の評価を行う(佐藤ら, 2002, 2003; Sato et al., 2003; 佐藤ら, 2004a,b,c; 萩原ら, 2006b)。

第5章における検討の結果より、この計画に関わるステイクホルダーとしては、

1. 治水に関して...第十堰のせき上げにより洪水時に被害を受け易い人々
2. 利水に関して...第十堰の流失時に利水被害を受ける旧吉野川流域の人々
3. 生態系に関して...可動堰建設によって生息環境に何らかの影響の出る生物(の代弁者)
4. 親水に関して...第十堰をアメニティ空間として利用している人々、又はその歴史的・文化的価値によって便益を受けている人々

の4種が考えられる。しかし第十堰の流失の危険性の有無に関しては様々な意見があり、堰中の構造などのさらなる調査が必要となる。したがって本研究では、それを除く治水に関するステイクホルダー、生態系に関するステイクホルダー、親水に関するステイクホルダーの3種を対象とし、代替案の評価を行う。

本来なら、直接的に利害を被る住民だけでなく、当該流域に特段の思い入れのある遠隔地の人々や、納税者としての国民全体などもステイクホルダーと捉えるべきである。しかし、「代替案の持つ多様な側面を公正に評価し、ステイクホルダーに社会的な視点を持たせよりよい意思決定につなげる」という本研究の目的を考えると、まずは直接的に影響の及ぶ範囲に問題を限定し、様々なフィードバックを得ながら問題に対する共通認識を持つプロセスが合意形成のためには重要と考えられる。したがって本研究では、可動堰建設計画が直接的な影響を及ぼすステイクホルダーに限定して代替案の評価を行う。

6.2 ステイクホルダーの満足関数

6.2.1 治水に関する満足関数

吉野川の洪水リスク

以下では治水に関する満足関数を構築するために、第十堰周辺で計画高水規模の洪水が生じたときの氾濫状況のデータを利用するが、まずこの計画規模が定められた経緯と、最近の吉野川の

洪水リスクの状況について論じる。

吉野川における現在の治水計画の計画規模は、吉野川流域の人口・資産の集積状況から、基準地点岩津より下流については1/150、上流については1/100、旧吉野川については1/100と定められている。この計画規模による基本高水流量は、岩津で $24,000\text{m}^3/\text{s}$ であるが、 $6,000\text{m}^3/\text{s}$ については既設の洪水調節ダムの有効活用や新規洪水調節施設の整備により対応し、残りの $18,000\text{m}^3/\text{s}$ を河道への配分流量（計画高水流量）としている（建設省四国地方整備局, 1995）。

吉野川における基本高水流量は、1974年9月の台風18号等による沿川被害を受けて見直されることになったが（建設省四国地方整備局, 1995）、この基本高水流量の改訂にあたっては、まずゲーム理論を用いたアプローチにより検討された。基本高水流量の算出には、洪水現象の不確実性を論じるために一般的に確率統計論が用いられるが、限られた資料からは複数の分布形をあてはめることができ、しかもそのどれを採用するかによって、得られる結果に大きな差異の生じることがある。そこで飯塚（1979）は、国民が洪水に対して支払わなければならない費用を事業費と被害額の期待値の和の形でモデル化し、洪水が国民にとって最も不都合な分布形で現れるとしたときにそのときの費用が最小となる事業レベルを求めるという手法を提案している。この手法を吉野川流域に摘要した結果、岩津での最適高水流量は $23,000\text{m}^3/\text{s}$ となった。

この検討結果を踏まえ、1982年、貯留関数法を用いた基本高水流量の算出が行われた。基本高水流量決定に用いられる計画降雨量は、1913年から1976年までの64年間の資料を用い、確率評価手法としては適合度の良い石原・高瀬方を採用し、岩津上流域の計画降雨量を $440\text{mm}/2$ 日とした。次に水文資料が整っている過去の11洪水を対象として貯留関数法のパラメータ同定を行い、計画降雨量まで引き延ばされた計画対象降雨群をこれに投入し、最終的に1974年型の洪水パターン（引き延ばし率1.34）の計算流量 $24,000\text{m}^3/\text{s}$ を基本高水流量として算出した（建設省四国地方整備局, 1995）。最近河川整備基本方針の見直しにしたがい、この基本高水流量は流量確率手法や既往洪水、近年の洪水によって検証が行われているが、 $24,000\text{m}^3/\text{s}$ は妥当であると結論付けられている（国土交通省河川局, 2005）。

また最近の吉野川の洪水リスクの状況であるが、ここ数年の間に大規模な洪水が頻発している。基準地点岩津の1961年から2005年までの最大流量上位10洪水をFig.6.1に、そのうち近10年における主な洪水の概要をTable.6.1に示すが、近年特に洪水に対する危険性の高まっていることが分かる。中でも2004年10月の洪水では岩津において戦後最大流量が観測され、池田から岩津の間にある無堤地区で外水氾濫が発生するとともに、各所で内水氾濫による被害が多発した（国土交通省四国地方整備局, 2007）。

また2005年の台風14号における出水では、渇水により早明浦ダムの貯水率が0%であったのが、台風により1日にして100%まで回復した。このとき早明浦ダムは洪水の全量約2億5千万 m^3 の流水を貯留するなど、新宮ダム、柳瀬ダム、富郷ダムと合わせ、下流域の洪水被害の軽減に大きく寄与したが、もし早明浦ダムの利水容量が満水だった場合には最大 $3,600\text{m}^3/\text{s}$ の放流を行ったと考えられている（Fig.6.2）。岩津地点における最大流量が約 $13,800\text{m}^3/\text{s}$ であったことを考慮すると、計画高水流量 $18,000\text{m}^3/\text{s}$ に匹敵する出水となり、大きな被害をもたらしていた可能性がある。また早明浦ダムは80年に1回の頻度で発生する洪水に対応できるよう計画されているが、2005年の台風14号のケースを含め管理開始以来31年間で計画最大流入量を超える洪水が4回発生し、そのうち2回は計画最大放流量を超える放流の実施を余儀なくされている（Fig.6.3）（国土交通省四国地方整備局, 2007）。このように吉野川は現在もなお逼迫した洪水リスクが存在している。

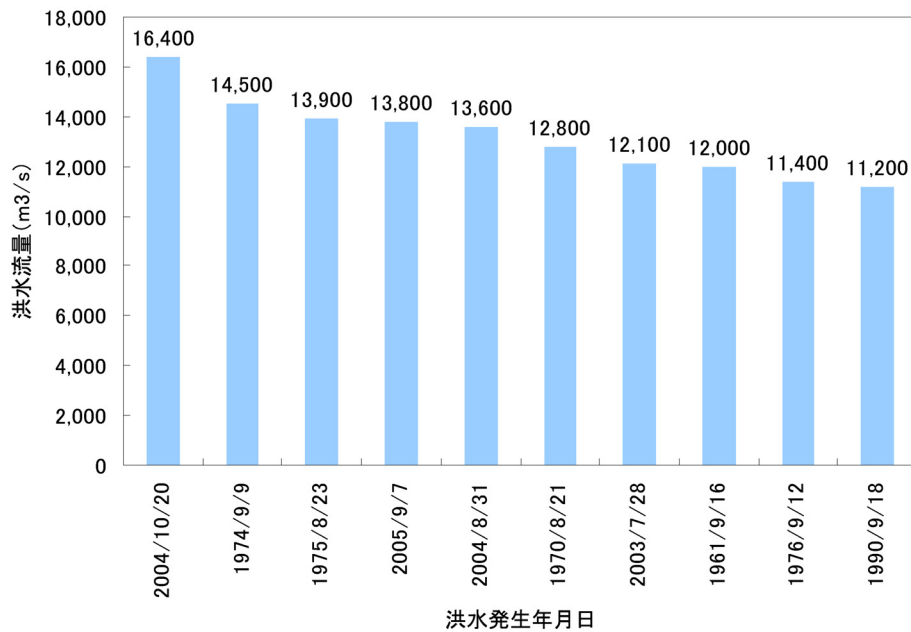


Fig. 6.1: 基準地点岩津の主な洪水（1961年～2005年）（国土交通省四国地方整備局, 2007）

Table. 6.1: 基準地点岩津の近10年における主な洪水の概要（国土交通省徳島河川国道事務所, 2004a,b, 2005, 2007; 国土交通省四国地方整備局, 2007）

洪水発生年月日	要因名	時刻	岩津上流流域 平均2日雨量 (mm)	最高水位(m)※	最大流量(m³/s)	備考
2004/8/31	台風16号	0:30	279	6.92	約13,600	池田から岩津間の無堤地区で氾濫被害, 内水地区で浸水被害. 浸水面積757ha, 床上浸水92戸, 床下浸水139戸.
2004/10/20	台風23号	19:00	366	7.22	約16,400	戦後最大の洪水. 吉野川は浸水面積7,645ha, 床上浸水745戸, 床下浸水1,975戸. (旧吉野川は浸水面積3,120ha, 床上浸水139戸, 床下浸水457戸.)
2005/9/7	台風14号	2:50	505	6.51	約13,800	一時0%まで低下した早明浦ダム貯水率が1日にして100%に回復. 吉野川は浸水面積 666ha, 床上浸水19戸, 床下浸水111戸.

※基準地点岩津における基準水位(m)は以下の通り

計画高水位	12.937
危険水位(無堤部)	6.80
危険水位(有堤部)	7.50
警戒水位	5.30

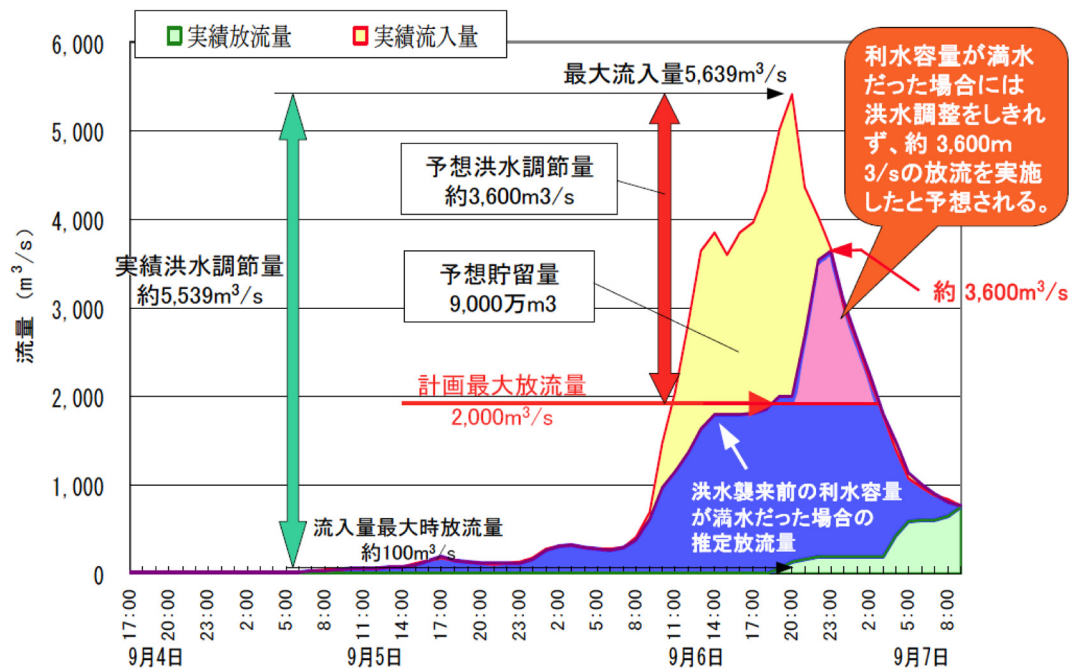


Fig. 6.2: 2005 年台風 14 号における早明浦ダムの洪水調節 (四国水問題研究会, 2006)

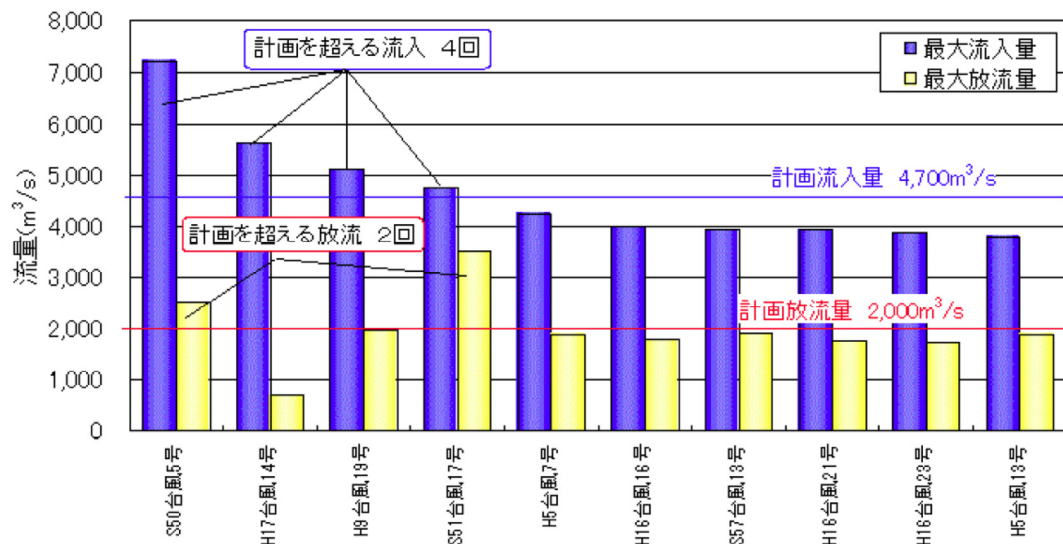


Fig. 6.3: 早明浦ダムの流入放流状況 (流入量上位 10 洪水) (国土交通省四国地方整備局, 2007)

グループの設定

固定堰である第十堰は旧吉野川への分水を行う一方、洪水時には流れに対して妨げとなり、堰上流で水面を押し上げるせき上げ現象を生じさせるため、水位が上昇する区間においては安全性が他の区間の堤防に比べて低下する。また河道に対して斜めになっているため、洪水時には堰を乗り越えた流水が堰に対して直角な方向に流れの方向を変えられ、深掘れを引き起こし堤防の安全性に影響を与えたと考えられている（建設省四国地方整備局, 1995）。

したがって吉野川第十堰問題における「治水に関するステイクホルダー」は、「第十堰があることにより洪水被害を受けやすい人々」と考えられるが、これを厳密に定義するためには、第十堰がある場合とない場合（可動堰が建設された場合）のそれぞれで破堤の地点や確率がどのように変化するかを予測し、それらの比較を行う必要がある。しかし現時点ではそのようなデータが存在しないため、本研究では「現在洪水に対して高い危険性のある地域に住むの人々」を「治水に関するステイクホルダー」として考えることにする。

吉野川においては、計画規模の洪水が生じたときの浸水状況をシミュレーションにより求めた浸水想定区域図が公開されている（計算の前提条件を Table.6.2 に示す）。浸水想定区域図作成にあたっては対象洪水流量が氾濫流量に達するすべての流下能力不足箇所と重要水防箇所について 200m 毎に検討し、複数の氾濫想定地点を設定しているが、前述のように第十堰があることでその周辺区域の洪水の危険性が高まっていることを考慮に入れ、本研究では第十堰付近で破堤が生じたときのシミュレーション結果（国土交通省徳島河川国道事務所, 2002a,b）を活用して治水に関するステイクホルダーの設定を行う。

第十堰付近で破堤した場合の洪水流の伝播の時間経過に関しては、破堤後氾濫するまでにどれだけ時間がかかるかという観点から、以下の 5 つの区域に分類されている（Fig.6.4, 6.5）。

1. 破堤後 0.5 時間以内に氾濫する区域
2. 破堤後 0.5～1.0 時間に氾濫する区域
3. 破堤後 1.0～2.0 時間に氾濫する区域
4. 破堤後 2.0～3.0 時間に氾濫する区域
5. 破堤後 3.0 時間以降に氾濫する区域

また洪水による最大浸水深に関しては、以下の 3 つの区域に分類されている（Fig.6.6, 6.7）。

1. 浸水深が 0.5m 以下の区域
2. 浸水深が 0.5m～2.0m の区域
3. 浸水深が 2.0m 以上の区域

本研究では、洪水被害の程度が「いつ洪水がやってくるか」「洪水によりどの程度の深さまで浸水するか」の二つにより規定され则认为、洪水流の伝播の時間経過と、洪水による最大浸水深との組み合わせにより、「河川流域に住む一人の住民」という視点からみた「治水レベル」を Fig.6.8

Table. 6.2: 吉野川浸水想定区域図作成にあたっての前提条件

項目	概要
1. 氾濫原の特徴分析	
1.1 対象はん濫原の設定	
(1) 対象とする氾濫原	既往の検討による想定氾濫区域を参考として、地形条件、盛土構造物、氾濫想定地点の位置等を考慮し、最大浸水区域を包含出来るような範囲を設定した。
(2) 氾濫解析モデルにおける氾濫原の想定	将来における氾濫原の構造物等の具体的変化は考慮していない。
(3) 資産算定における氾濫原の想定	将来における氾濫原の資産の具体的変化は考慮していない。
1.2 対象氾濫原における資産等の調査	
(1) 平均地盤高データの設定	1/2,500～1/5,000地形図から、高盛土(JR, 道路, 支川堤防)等の平均的な地盤高でない値を除いた単点標高の値を用いて、内挿計算により50mメッシュの地盤高を算定。
(2) 土地利用状況、建物占有率等の調査	1/2,500地形図より土地利用、建物占有率を計測し、250mメッシュで整理した。
1.3 対象氾濫原の特徴分析	
1.3.1 破堤氾濫条件と流下能力(破堤氾濫開始流量)の把握	
(1) 流下能力把握にあたって対象とする河道	河道条件(1999年度末)、施設整備状況(2001年度末)
(2) 破堤氾濫開始流量把握のための条件	
① 水理解析手法	準二次元不等流計算
② 水理条件	1999年度末の河道条件と2001年度末の施設整備状況を踏まえて流下能力を算定した。 下流端水深: AP+2.305m(朔望平均満潮位+密度差+実績偏差)
(3) H-Q式の作成	1999年度末の河道条件と2001年度末の施設整備状況を踏まえたH-Q式を作成した。
(4) 無害流量の評価	Q1の算定には堤防天端高(スライドダウンなし)とHWLの低い方を評価高とした。
1.3.2 氾濫地点の想定	対象洪水流量が氾濫流量に達するすべての流下能力不足箇所と重要水防箇所について200m毎に検討し、氾濫想定地点を設定した。
2. 氾濫シミュレーション	
2.1 氾濫シミュレーションの基本的考え方	
(1) 対象洪水波形	昭和49年9月洪水の実績降雨を岩津1/150・池田1/100に引き伸ばした流出解析結果によるハイドロを用いた。
(2) 氾濫シミュレーションケース	氾濫地点の想定と同様
(3) 氾濫シミュレーション実施にあたっての留意点	上流の無堤部の溢水氾濫による流下流量の低減は、流出計算中の河道定数により考慮されている。
2.2 洪水氾濫の条件設定	
2.2.1 氾濫流量	
(1) 算定要領	① はん濫流量: 河川水位と背後の堤内地水位及び破堤敷高との関係から算定する。 ② 河川水位: 流出解析による流量から、前述の河道計画に用いられた水位計算法によるH-Q式により河道水位を算定する。 ③ 河道洪水追跡: 河道追跡は行っていない。(溢水氾濫による流量低減は流出解析の河道定数で考慮)
(2) 氾濫シミュレーション手法	
(3) 計算にあたっての条件設定	
① 越水幅	破堤幅か直下流破堤地点までの距離
② 破堤幅	西覚円の破堤実績を採用(590m)
③ 破堤敷高	堤防位置における堤内地盤高と河道高水敷高のいずれか高い方
④ 破堤の時間進行	破堤後瞬時に最終破堤幅の2分の1(y/2)が破堤し、その後1時間で最終破堤幅まで拡大する。
⑤ 施設の扱い	盛土: 主要道路、鉄道、河川堤防等、平均地盤高からの比高が50cm以上の連続盛土を地形図からの判読、現地踏査により設定した。盛土の中のカルバートについても地形図からの判読、現地踏査、既往の検討値により設定した。 水路: 支川は水路満杯として扱った。
⑥ 越流量及び施設からの流出量	マニュアル記載の本間公式に基づき河床勾配を用いて横越流として算定。但し、河道水位は準二次元不等流計算に基づくH-Q式で算定。
⑦ 粗度	氾濫シミュレーション・マニュアル(案)に従い、農地 $n=0.06$ 、道路 $n=0.047$ 、その他 $n=0.05$ として面積加重平均し更に建物占有率と水深により合成粗度を設定。
2.3 氾濫シミュレーションの実施	岩津下流: 計算メッシュ=250m, 平面二次元不定流モデル

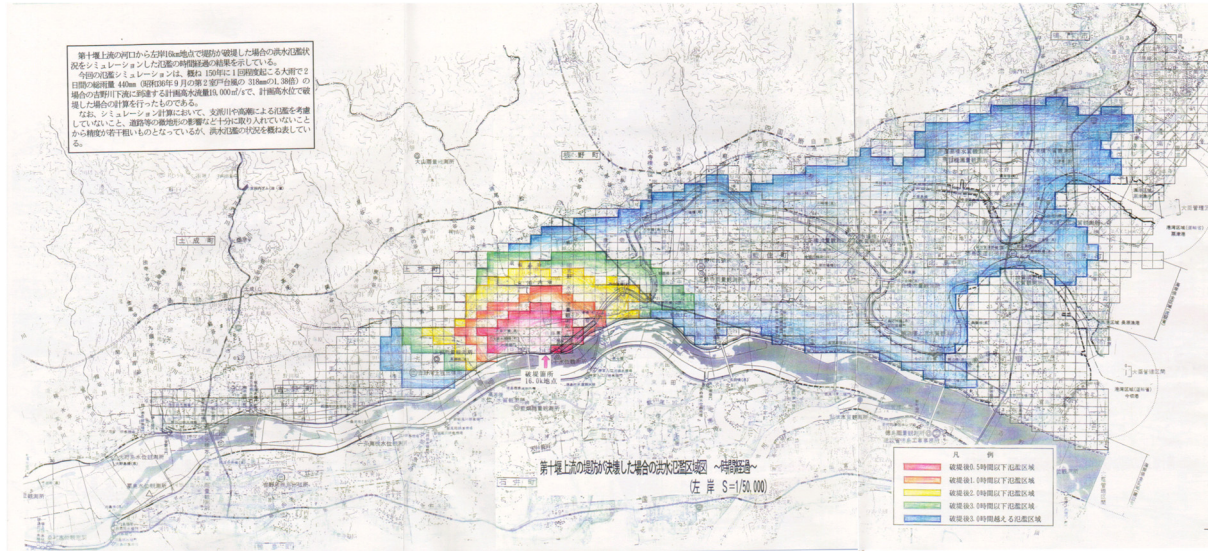


Fig. 6.4: 洪水流の伝播の時間経過（左岸）

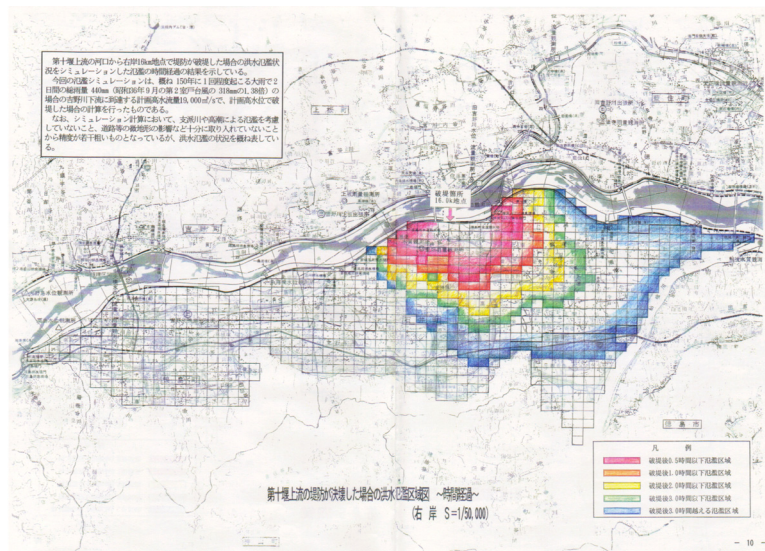


Fig. 6.5: 洪水流の伝播の時間経過（右岸）

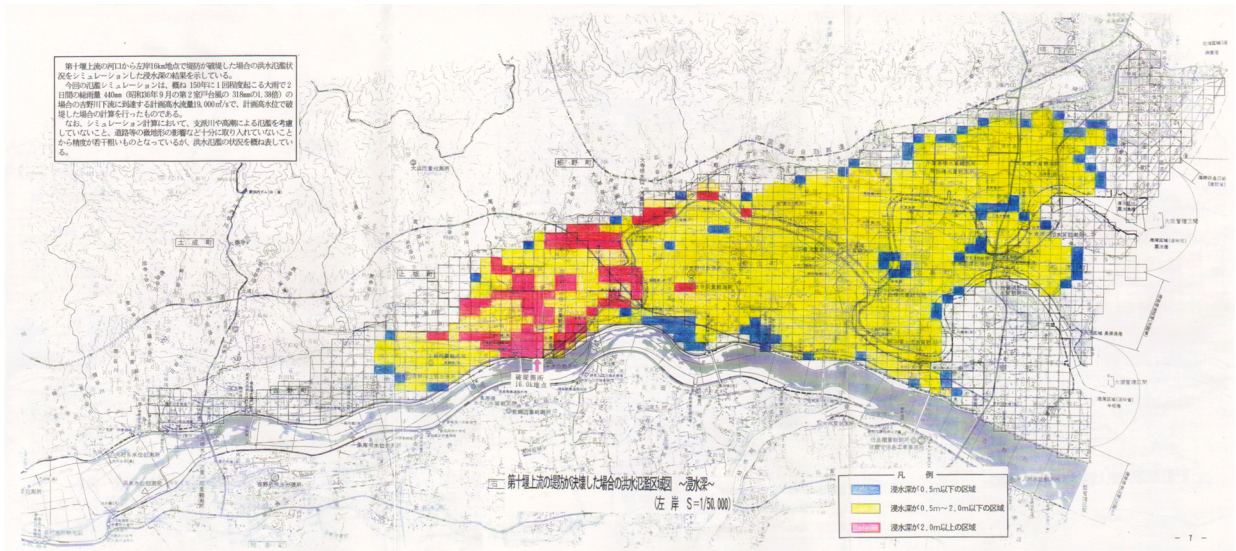


Fig. 6.6: 洪水による最大浸水深（左岸）

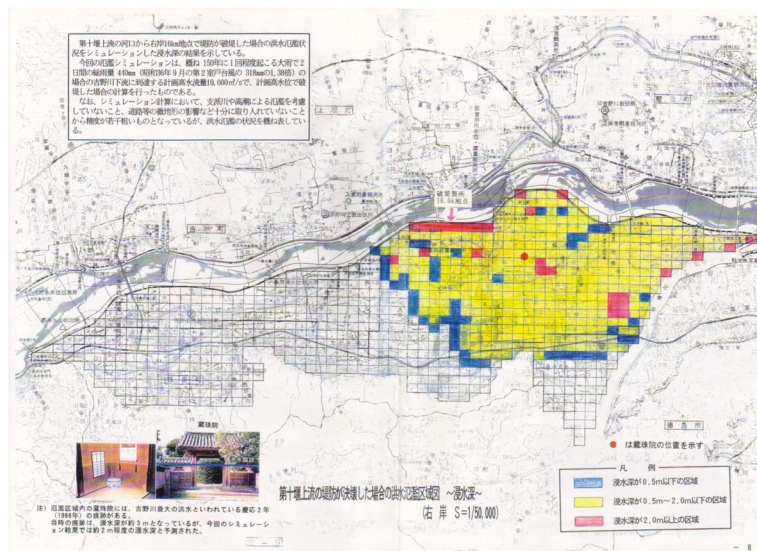


Fig. 6.7: 洪水による最大浸水深（右岸）

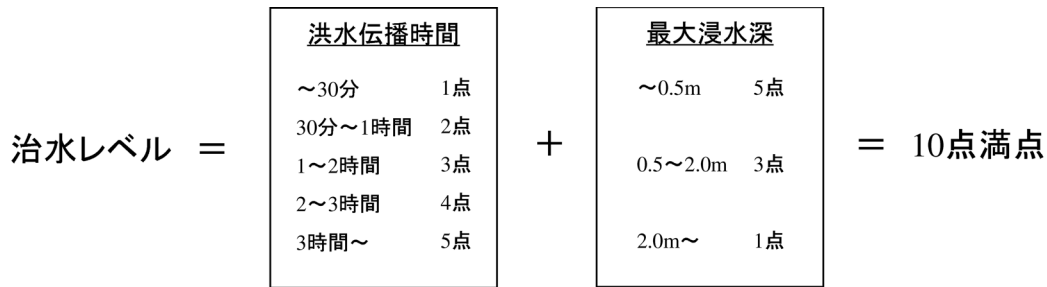


Fig. 6.8: 「治水レベル」の設定

のように設定する。すなわち、洪水流の伝播の時間経過と、洪水による最大浸水深のそれぞれを5点満点で評価し、合計10点満点で評価する。

この考え方をを用いて、「治水に関するステイクホルダー」の定義を行う。まず洪水流の伝播の時間経過に関して、栗城ら(1998)によれば、避難命令を受けてから家を出発し、避難場所まで安全に避難するには、およそ2時間20分が必要であると言われている。また例えば2000年9月の東海豪雨災害において、避難勧告が発令されてから堤防が決壊するまでにおよそ2時間20分~4時間30分かかったことを考えると、「破堤後0.5時間以内に氾濫する区域」は、洪水流の伝播の時間経過に関して言えば極めて危険な地域であると言える。

また洪水による最大浸水深に関して、「浸水深が0.5m以下の区域」は家屋の床下浸水、「浸水深が0.5m~2.0m以下の区域」は家屋の床上浸水に当たるが、「浸水深が2.0m以上の区域」は家屋の二階浸水を意味し家屋の流出の危険性を伴うため、極めて危険な地域であると言える。

以上より、Fig.6.8において「洪水流の伝播の時間経過」もしくは「洪水による最大浸水深」のどちらか一方でも1点ならば「洪水に対して高い危険性を持っている地域」と考え、治水レベルが6点以下の人々を「治水に関するステイクホルダー」と考えることにする。Fig.6.9に治水レベルが6点以下の人々の分布図を示すが、多くのステイクホルダーを抱える上板町と石井町はかつて町として可動堰建設を推進していたことから、このステイクホルダーの設定が妥当であると考えられる。

次に治水に関するステイクホルダーを、その治水レベル(2~6点)によってグループに分ける。治水レベルと洪水流の伝播の時間経過、洪水による最大浸水深、それらに該当する人口をGIS (Geographic Information System) を用いて算出したものを、Table.6.3にまとめる。

必要度の算出

以上のようにグループを設定すれば、次はそのグループ毎の必要グラフから必要度を算出することが必要である。本研究では必要グラフは以下の仮定のもと、外生的に与える。

1. どのグループの誰もが、治水レベルは6点以上であって欲しいと考えており、またその最大値は10点である。
2. より低い治水レベルのグループほど、洪水に対する危険性の認識が強く、より大きな改善を望む。

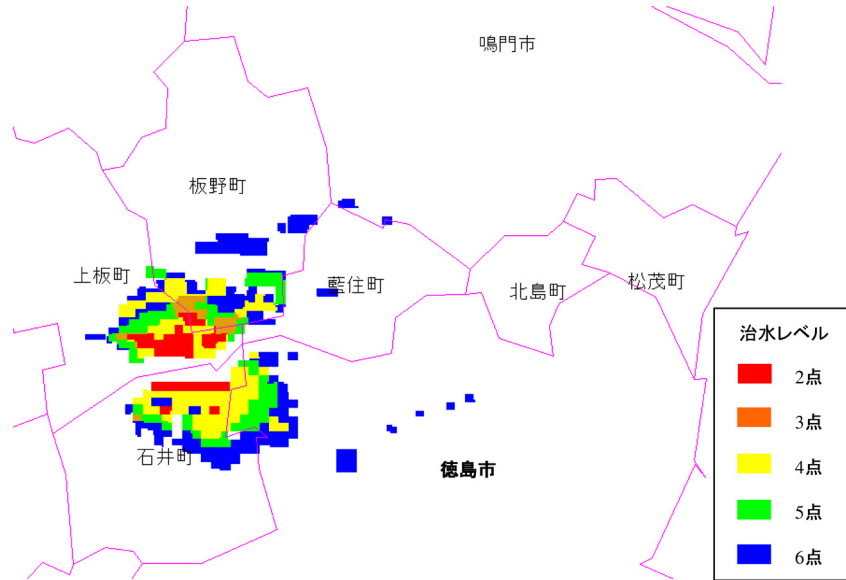


Fig. 6.9: 治水に関するステイクホルダーの分布図

Table. 6.3: 治水レベルとその人口

治水レベル	洪水伝播時間	最大浸水深	人口	合計人口
6 点	0.5 時間以内	0.5m 以下	211 人	6946 人
	1.0～2.0 時間	0.5m～2.0m	4602 人	
	3.0 時間以降	2.0m 以上	2133 人	
5 点	0.5～1.0 時間	0.5m～2.0m	3019 人	3414 人
	2.0～3.0 時間	2.0m 以上	395 人	
4 点	0.5 時間以内	0.5m～2.0m	3695 人	4760 人
	1.0～2.0 時間	2.0m 以上	1065 人	
3 点	0.5～1.0 時間	2.0m 以上	388 人	388 人
2 点	0.5 時間以内	2.0m 以上	1225 人	1225 人

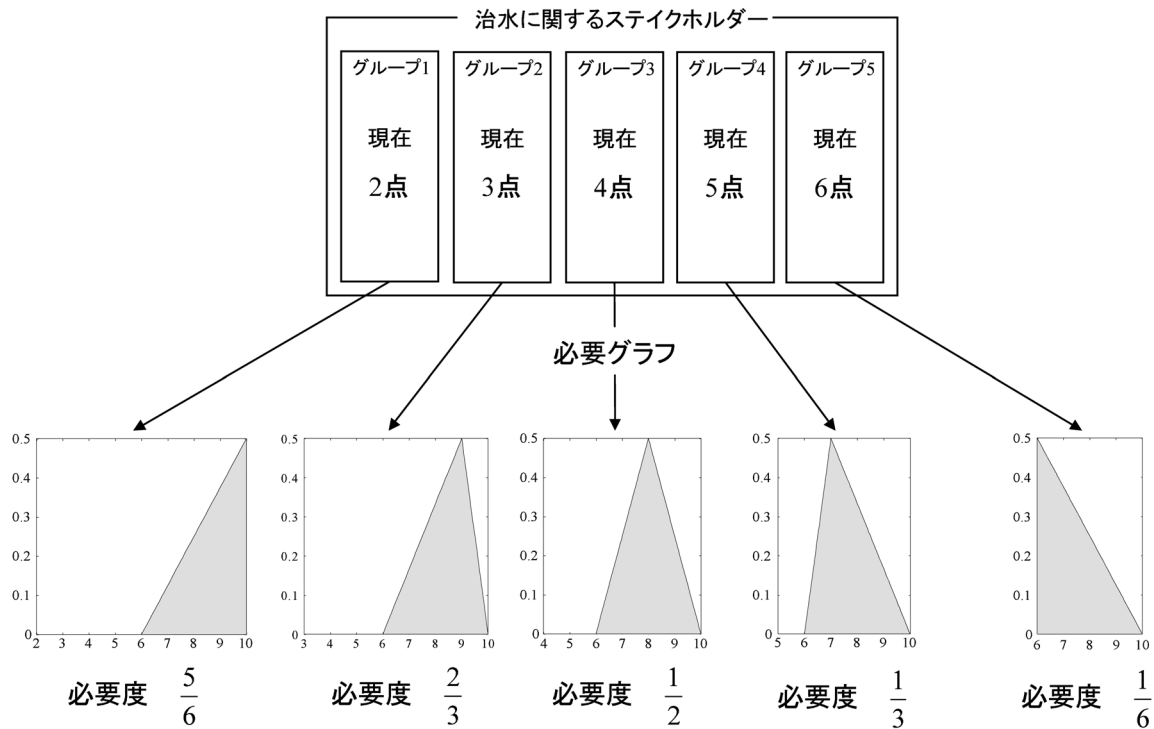


Fig. 6.10: 治水に関するステイクホルダーの必要グラフと必要度

3. 必要グラフの形状は線形で近似される.

この仮定に従い各グループの必要グラフを設定し、評価基準の最悪値として治水レベルが2点の人を取ったときの必要度を式(4.18)にしたがって計算したものが、Fig.6.10である。なおグループ間の必要グラフの形状の差異については、本研究の中で設定した仮想的なものであり、調査や文献等に基づくものではないため、今後調査が必要である。

さらに式(4.21)を用いれば、治水に関するステイクホルダーの満足関数が得られる。満足関数の曲線としては式(4.21)と矛盾しないものが望ましいが、本研究では限界効用逓減の傾向を表現するために

$$f(x) = a + b \cdot \exp(cx) \quad (6.1)$$

を仮定して近似曲線を引くと、最小二乗法により Fig.6.11 の満足関数が得られる。

6.2.2 生態系に関する満足関数

グループの設定

生態系を構成する要素は動物、植物、土壌、大気など様々であるが、本研究では可動堰建設により最も直接的で大きな影響を受けると考えられる「魚類」に着目し、この意見の代弁者を生態系に関するステイクホルダーと考えることにする。しかし、魚類と言っても現在の生息環境に満

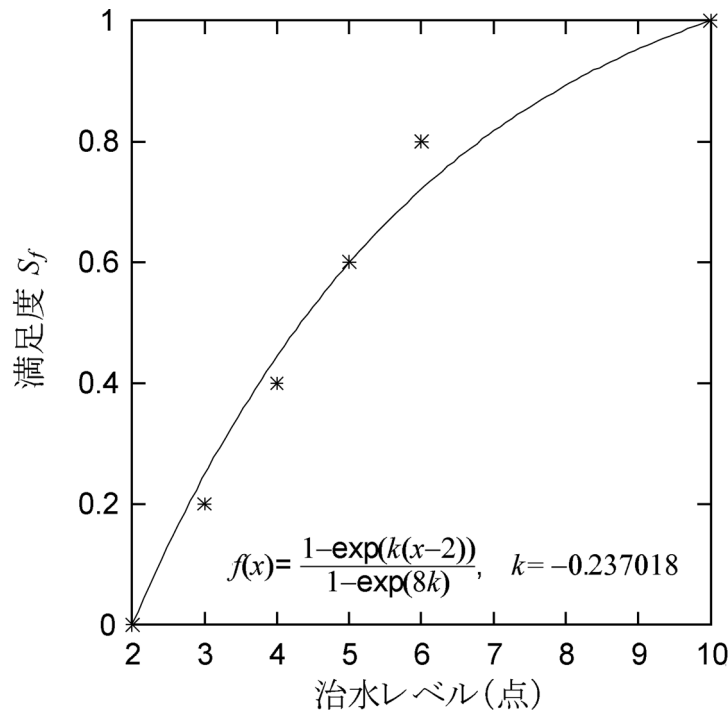


Fig. 6.11: 治水に関するステイクホルダーの満足関数

足している魚種と、そうでない魚種がいると考えられるので、その大きさを魚種によって定量的に表現し、それにしたがって魚類を複数のグループに分ける。

本研究では、環境の変化が魚類にもたらす影響を定量的に表現するための手法として、魚類の生息環境の評価指標である森下らの HIM (Habitat Index Morishita) (森下ら, 2000) を用いる。HIM とは、「川が上下に連なっているか」「河床に大小の石があるか」など魚が生息するための条件を 10 項目選び、それぞれ 5 点満点で評価することで、合計最低 10 点、最高 50 点の評価値をつけるものである。つまりこの手法は、ある河川環境を目で見て、それが魚類全体にとってどの程度適切であるかどうかを評価するものである。その項目の内容と点数の付け方を Table.6.4 に示す。

しかしもちろん、魚種によって「上下の連なり」を特に重視するものから、「河床の石」を重視するものまで様々である。その重視の度合いを同様に魚種ごとに各項目につき 5 点満点で算出したものは、「要求度」と呼ばれている。したがってこの指標は、河川環境の変化を魚類の視点から定量的に表現できるということと、生息環境に対する魚種ごとの満足度合いが表現できるという点で、本研究の目的に合致した指標であると言える。

現状が維持されたときの HIM を第十堰付近での現地調査により設定し、第十堰周辺に棲む主な魚種 (建設省四国地方整備局, 1996) の要求度とその不足分 (= 要求度 - 現状維持の HIM) をまとめたものが、Table.6.5 である。したがって、現状維持の HIM を各項目 $i (i = 1, 2, \dots, 10)$ について h_i^s 、ある魚種 j の各項目 i についての要求度を h_{ij}^d とすると、各魚種 j についての不足分 h_j^l は以下の式で表される。

Table. 6.4: HIM の項目と点数のつけ方 (森下ら, 2000)

項目	内容	点数のつけ方
1	川が上下に連なっているか	5 魚が自由に移動できる 3 少し移動できる 1 移動できない
2	細流、水路等のつながりが有効か	5 常に移動できる 3 細流、水路があるが移動が難しい 1 細流、水路もなく移動ができない
3	冠水率の高い水辺（湿地）や伏流水はあるか	5 増水のたびに冠水する 3 年 2～3 回冠水する 1 数年に 1 回冠水する
4	河床に大小の石があるか	5 河床材料がいろいろ 3 同じ大きさの材料で偏っている 1 石だけ、泥だけ、砂だけに偏っている
5	水深に大小があるか	5 変化に富んでいる 3 ある程度の水深に変化が見られる 1 水深が一定で変化がない
6	流速に大小があるか	5 流速が変化に富んでいる 3 やや変化のある流れが存在する 1 均質な流れとなっている
7	水生植物があるか	5 いろいろなタイプの水生植物がある 3 同じ種類の水生植物が少しある 1 水生植物がない
8	水辺林が連続しているか	5 水辺林が連続する、水面に突出している 3 水辺林がまばらである 1 水辺林はない
9	水面への光のあたり方	5 水面に光が当たる時間が 1 日 6 時間以下である 3 陰になる所と明るい所がある 1 いつも光が当たっている
10	攪乱の度合い	5 改変から時間がたち安定している 3 改変が目立たない 1 改変が繰り返されている

$$h_j^l = \sum_{i=1}^{10} \lambda_{ij} \quad (6.2)$$

$$\lambda_{ij} = \begin{cases} h_{ij}^d - h_i^s, & \text{if } h_{ij}^d \geq h_i^s \\ 0, & \text{if } h_{ij}^d < h_i^s \end{cases} \quad (6.3)$$

この「現状からの HIM 不足分」が大きければ大きいほど、その魚種が現状の生息環境に対して不満を持っていることを意味するため、この指標の大小により、魚類をグループに分ける。Table.6.5 によれば、不足分が 10 であるのはナマズ、8 であるのはウナギとギギ、6 であるのはカマツカ、トウヨシノボリなど、4 であるのはアユ、オイカワなど、2 であるのはウグイ、ドジョウなど、0 であるのはギンブナ、コイなどである。したがってグループを 6 つに分けることになる。

必要度の算出

以上のグループ分けに基づいて、まずそれぞれの必要グラフの設定を行う。ここでは、魚類の必要グラフに関して、以下のような仮定を置く。

1. どのグループにおいても不足分 0 を望む割合が最も高い。
2. 必要グラフの形状は線形で近似される。
3. 魚類は「より低いレベルのグループほど、より大きな改善を望む」というような人間的な感情は存在せず、どのグループも全く同じ必要グラフの形状を有するものとする。

この全てのグループに共通の必要グラフは、以下のようにして求めた。まず、「現状からの HIM 不足分」を横軸に、それに該当する魚種数を縦軸に取り、直線で近似する。これは、魚種全体にとっての HIM 不足分に対する選好の度合いを表したものであると言える。次に各魚種ごとの「現状からの HIM 不足分」を平均し、平均としてどの程度改善に対する要求があるのかを調べる。そして先ほど求めた線形関数の x 切片を正の方向にその平均分ずらし、面積が 1 となるようにグラフを修正する。これを魚類の必要グラフであると考え（Fig.6.12）。なおここでは、不足分の数値に負記号を付けている。以上に基づき、各グループの必要グラフからその必要度を式 (4.18) にしたがって計算したものが、Fig.6.13 である。

ところで必要グラフに基づいてグループごとの必要度を求めるためには、4.2 で述べたように、ステイクホルダー間の整合性を保てるような最悪値の設定が必要となる。治水に関するステイクホルダーの最悪値における必要度が $\frac{5}{6}$ であり、生態系に関するステイクホルダーもこれに合わせるためには、式 (4.18) より「HIM 不足分」が -17.8 であればよい。したがってこれを生態系に関するステイクホルダーの最悪値として設定すれば、必要度は式 (4.18) より Fig.6.13 に示すようになる。

また満足関数の曲線として治水に関するステイクホルダーと同様式 (6.1) を想定すると、最小二乗法により生態系に関するステイクホルダーの満足関数は Fig.6.14 のように得られる。

Table. 6.5: 現状維持の HIM と魚種ごとの要求度・不足分

■代替案ごとのHIM値

代替案	1 川の連なり	2 細流・水路等 のつながり	3 冠水率の高い 水辺や伏流水	4 河床に大小の 石	5 水深の大小	6 流速の大小	7 水生植物	8 水辺林の連続 性	9 水面への光	10 攪乱の度合い	HIM合計 点
現状維持	3	1	5	3	5	3	3	1	3	3	30

■魚の要求度

魚種名	1 川の連なり	2 細流・水路等 のつながり	3 冠水率の高い 水辺や伏流水	4 河床に大小の 石	5 水深の大小	6 流速の大小	7 水生植物	8 水辺林の連続 性	9 水面への光	10 攪乱の度合い	HIM合計 点
ギンブナ	1	1	3	1	1	1	3	1	1	1	14
アユ	5	1	1	3	3	3	1	3	3	3	26
ウグイ	3	1	3	3	5	3	3	3	1	1	26
オイカワ	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	28
コイ	3	1	3	1	1	1	3	1	1	1	16
カマツカ	3	3	3	5	3	3	1	3	3	1	28
ナマズ	3	5	3	5	5	3	5	3	3	1	36
ヌマチチブ	3	3	3	3	3	3	1	3	1	3	26
ドジョウ	3	3	3	1	3	3	3	1	3	3	26
ウキゴリ	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	28
トウヨシノボリ	5	1	3	5	5	3	3	3	3	3	34
モツゴ	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	28
ゲンゴロウブナ	1	1	3	1	1	1	3	1	1	1	14
カワムツB型	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30
シマドジョウ	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	28
ウナギ	5	5	1	1	3	3	1	3	3	1	26
ブラックバス	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
ニゴイ	3	1	3	1	3	3	1	1	1	1	18
タイリクバラタナゴ	1	3	3	1	1	3	3	3	3	3	24
カワヨシノボリ	3	1	3	5	5	3	3	3	3	3	32
ブルーギル	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	12
ヤリタナゴ	3	3	5	1	1	3	5	1	3	5	30
ハス	3	1	1	3	3	3	1	3	3	3	24
チチブ	3	1	3	3	3	3	1	3	3	3	26
ギギ	3	5	3	5	3	3	3	3	1	3	32
アユカケ	3	3	1	3	3	3	3	1	3	5	28
カムルチー	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12

■不足分(現状維持)＝要求度－現状維持HIM値

魚種名	1 川の連なり	2 細流・水路等 のつながり	3 冠水率の高い 水辺や伏流水	4 河床に大小の 石	5 水深の大小	6 流速の大小	7 水生植物	8 水辺林の連続 性	9 水面への光	10 攪乱の度合い	不足分
ギンブナ	-2	0	-2	-2	-4	-2	0	0	-2	-2	0
アユ	2	0	-4	0	-2	0	-2	2	0	0	4
ウグイ	0	0	-2	0	0	0	0	2	-2	-2	2
オイカワ	0	2	-2	0	-2	0	0	2	0	-2	4
コイ	0	0	-2	-2	-4	-2	0	0	-2	-2	0
カマツカ	0	2	-2	2	-2	0	-2	2	0	-2	6
ナマズ	0	4	-2	2	0	0	2	2	0	-2	10
ヌマチチブ	0	2	-2	0	-2	0	-2	2	-2	0	4
ドジョウ	0	2	-2	-2	-2	0	0	0	0	0	2
ウキゴリ	0	2	-4	0	-2	0	0	2	0	0	4
トウヨシノボリ	2	0	-2	2	0	0	0	2	0	0	6
モツゴ	0	2	-2	0	-4	0	0	2	0	0	4
ゲンゴロウブナ	-2	0	-2	-2	-4	-2	0	0	-2	-2	0
カワムツB型	0	2	-2	0	-2	0	0	2	0	0	4
シマドジョウ	0	2	-2	0	-2	0	-2	2	0	0	4
ウナギ	2	4	-4	-2	-2	0	-2	2	0	-2	8
ブラックバス	-2	0	-4	-2	-4	-2	-2	0	-2	-2	0
ニゴイ	0	0	-2	-2	-2	0	-2	0	-2	-2	0
タイリクバラタナゴ	-2	2	-2	-2	-4	0	0	2	0	0	4
カワヨシノボリ	0	0	-2	2	0	0	0	2	0	0	4
ブルーギル	-2	0	-4	-2	-4	-2	0	0	-2	-2	0
ヤリタナゴ	0	2	0	-2	-4	0	2	0	0	2	6
ハス	0	0	-4	0	-2	0	-2	2	0	0	2
チチブ	0	0	-2	0	-2	0	-2	2	0	0	2
ギギ	0	4	-2	2	-2	0	0	2	-2	0	8
アユカケ	0	2	-4	0	-2	0	0	0	0	2	4
カムルチー	0	0	-4	-2	-4	-2	-2	0	-2	-2	0

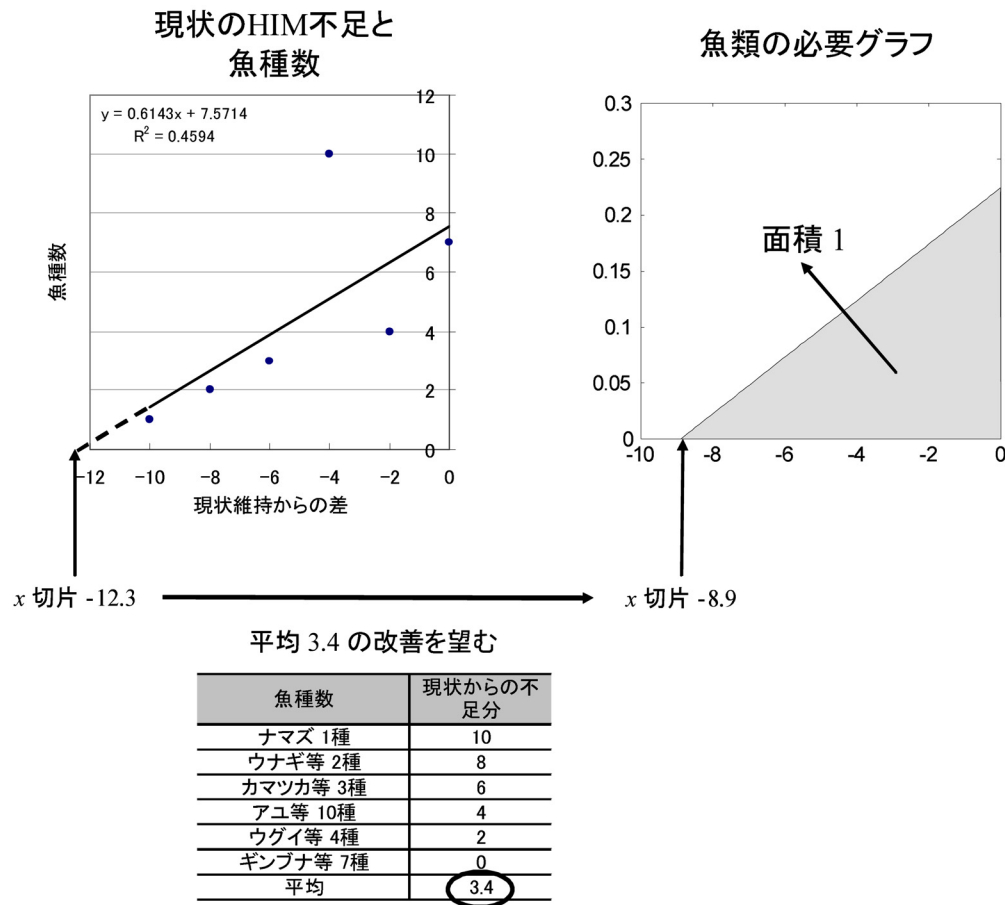


Fig. 6.12: 魚類の必要グラフの作り方

6.2.3 親水に関する満足関数

環境の価値は大きく分けて、利用価値と非利用価値からなると考えられる(萩原ら, 1998). 親水という観点からは、前者はレクリエーションなどによる現在あるいは将来の直接的利用を意味し、後者は環境の存在そのものに対する満足や、子孫へ環境を残そうという意志を意味する. 後者の存在についてはおおよそ認められており、その評価は重要であるが、利用価値計測によって環境価値の相当部分が計測できることも指摘されている(大洞ら, 2002). しかし第十堰については、親水空間としての価値が指摘されているにも関わらずこれまでその実態調査がなされてこなかった. そこで本研究では、第十堰の利用実態調査を実施し、これを基にした利用価値の評価によって親水に関するステイクホルダーの満足関数を構築することにする.

第十堰利用実態調査(村上ら, 2002, 2004a; Asano et al., 2004)

河川空間の利用現況を把握する観察調査の対象範囲を、徳島市、石井町、藍住町、上板町の4市町境界の接点である吉野川第十堰および両岸に設定した(Fig.6.15). 第十堰は河口から14km地点にある固定堰であり、上流側・下流側2体の構造をもつ. 堰下流側には、耕作地利用の高水

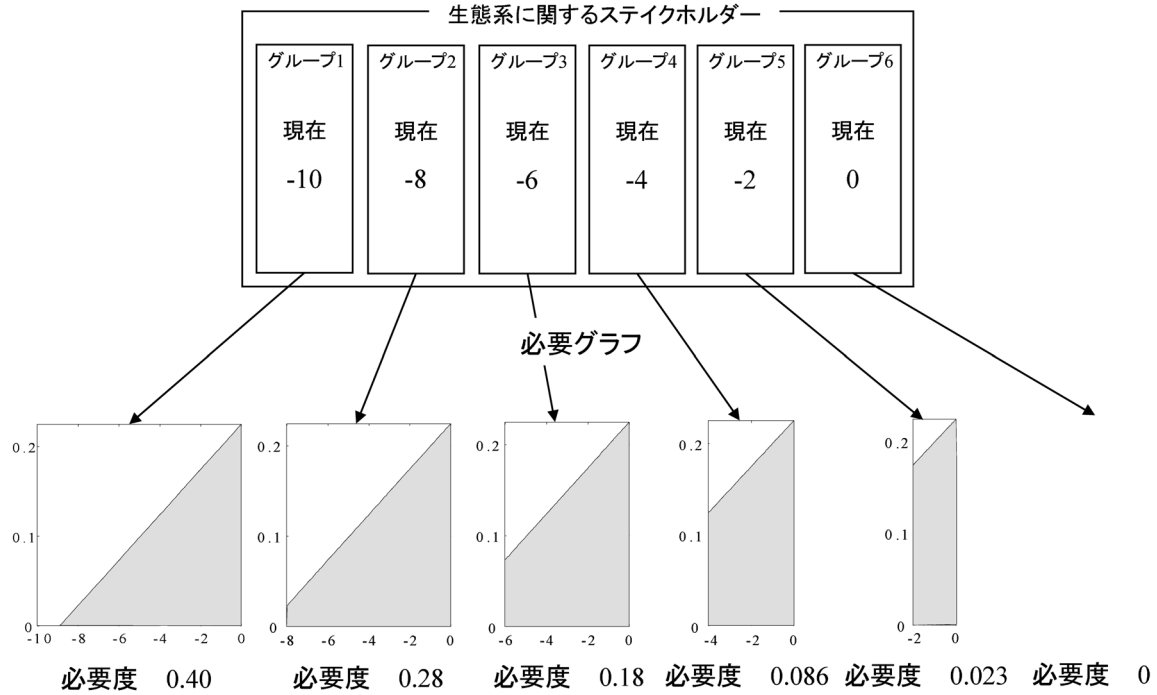


Fig. 6.13: 生態系に関するステイクホルダーの必要グラフと必要度

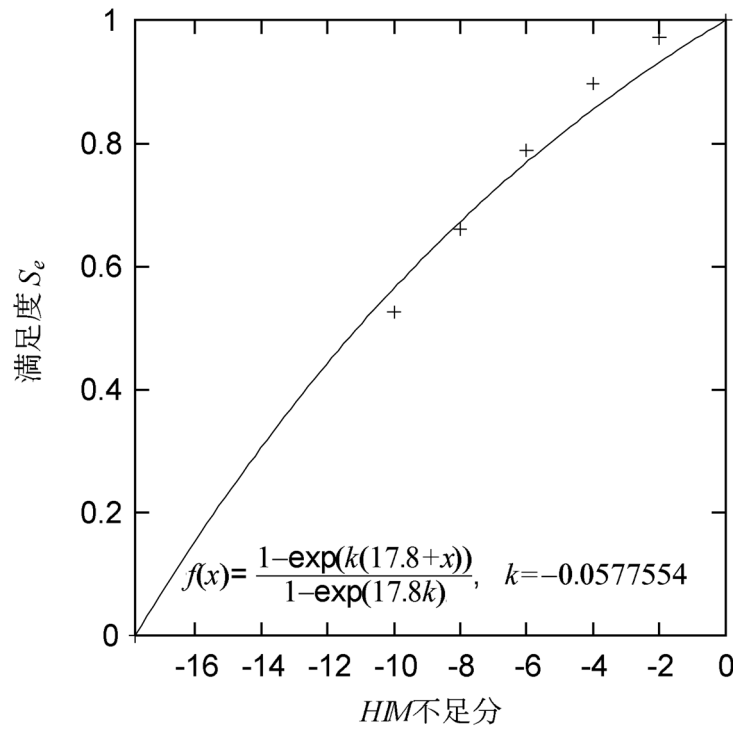
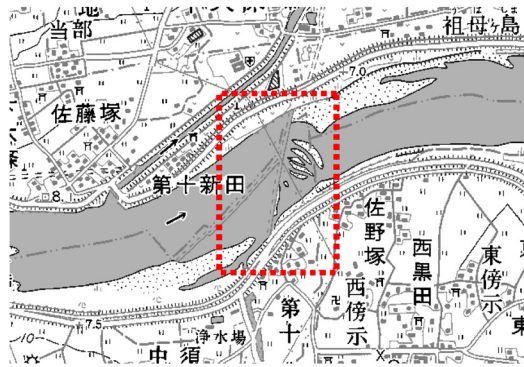


Fig. 6.14: 生態系に関するステイクホルダーの満足関数



利用調査対象範囲（点線囲み内）：国土地理院数値地図 50000（平成 12 年発行）を使用

Fig. 6.15: 利用調査の対象範囲

敷と低水路部のヨシ・ツルヨシ湿性草地在広がる。堰からの流れが数箇所の中洲の間を通り浅瀬を形成し、感潮域である。堰上流側は、耕作地利用の高水敷とヨシやアカメヤナギが生育する低水敷である。上堰と下堰の間に静水域がある。

現地での利用行動観察を、春夏秋冬の各季節に、平日と休日 1 日ずつ、合計 8 日の終日（ただし夜間を除く）に行った。下堰、下堰両岸の高水敷、下堰沿岸の水域、上堰の下流側半分を観察対象範囲とする。南北両岸それぞれ 2～3 名の調査員が、対象範囲を見渡せる位置に待機し、対象範囲の利用行動を常時観察し記録する。来訪者の属性（性別、年齢層、服装・装備、利用交通機関）、来訪時刻、出発時刻を記録する。各来訪者の利用行動を追跡観察し、時刻、行動内容、場所、水への接触の有無および程度を、地図と記録表に記入する。同時に、利用行動に影響をおよぼすと考えられる堰表層における水の越流範囲と、魚道内の水位を、各調査日で記録する。結果は GIS を用いて、利用行動データ、越流範囲、空間因子を地図上にプロットした。

夏季は 2002 年 7 月 28 日（日）、8 月 22 日（木）、秋季は 11 月 10 日（日）、11 月 11 日（月）、冬季は 2003 年 2 月 16 日（日）、2 月 17 日（月）、春季は 5 月 12 日（月）、5 月 17 日（土）に現地での観察調査を実施した。

Table.6.6 に各調査日の天候と来訪者数を示す。夏、春に比べて秋、冬の来訪者数は少なく、冬季を除いて平日より土日の来訪者が多かった。冬季で平日の方が多かった要因としては、午前中に雨が降り、その後も日照がなかったという天候により 2 月 16 日の来訪者数が少なくなったことが考えられる。また、2 月 16 日を除き南岸側からアクセスする来訪者が多かった。

主な行動内容ごとに人数を集計して Fig.6.16 に示す。釣りや魚とりといった水に直接関係する行為、眺望・写真・夕陽観賞のように景観資源を利用する行為、それに散歩や犬の世話のように水に直接関係しない行為という、それぞれのタイプの行為ともに各季節で観察された。また、ほとんどの行為は余暇活動であるが、取水、水洗い、監視といった生業や管理に関する行為も観察された。余暇活動の中には、散歩や犬の世話など日常的な活動も含まれる。

観察をとおして目撃された全ての行為を Table.6.7 に示す。水に直接関わる行為として 19、景観資源利用行為として 3、水と直接関係しない採集行為が 5、その他の行為 4 の合計 31 の行為が、河川空間ならではのものとして観察された。その一方で、河川や水辺空間でなくてもよい行為 26 が観察された。

Table. 6.6: 各調査日の概要

	調査日時	天気	平均 気温 (°C)	最高 気温 (°C)	最低 気温 (°C)	平均 湿度 (%)	平均 風速 (m/s)	日照 時間 (h)	満潮 時刻 ⁴⁾	干潮 時刻 ⁴⁾	来訪者数 (人)	北岸 から (人)	南岸 から (人)	平均滞在 時間 (時間:分)
夏	2002年07月28日(日) 5:00~20:00	晴	29.9	33.6	26.5	68	2.7	11.7	8:58	15:16	212	75	137	1:00
	2002年08月22日(木) 5:00~20:00	晴	24.5	29.0	20.4	53	2.7	10.7	6:25	11:47	93	33	60	0:45
秋	2002年11月10日(日) 6:00~19:00	晴	10.7	15.6	6.0	55	2.7	9.9	11:27	16:45	132	48	84	0:38
	2002年11月11日(月) 6:00~19:00	晴	13.7	20.7	5.3	64	2.7	8.1	14:05	18:12	45	15	30	0:29
冬	2003年02月16日(日) 6:00~19:00	雨後 曇 ¹⁾	7.1	9.0	5.4	80	3.2	0.0	7:34 18:50	13:02	40	22	18	0:15
	2003年02月17日(月) 6:00~19:00	快晴	7.3	11.6	3.6	58	2.8	9.2	8:01	13:32	69	17	52	0:33
春	2003年05月12日(月) 5:00~20:00	曇後 晴 ²⁾	19.2	23.4	14.8	70	2.7	7.5	16:13	10:17	133	54	79	0:55
	2003年05月17日(土) 5:00~20:00	薄曇 ³⁾	16.8	22.6	12.9	61	2.4	7.8	7:14	13:45	221	99	122	0:46

1) 2/16に0mmを超える降雨が観測されたのは午前10時まで。2) 5/12は午前8時以降、0時間を超える日照時間が観測されている。3) 5/17は午前9時と午前11時以降、0時間を超える日照時間が観測されている。4) 満潮・干潮時刻は、気象庁による小松島の実測時刻に1時間を加算した推定時刻。

Table. 6.7: 観察された行為の一覧

	行為	内容		行為	内容		行為	内容
水辺・河川 空間に関 係する	釣り	釣竿で魚を釣っている	水辺・河川 空間に関 係する	展望	景色を眺める	水辺・河川 空間でなく てもいい	犬の世話	犬の散歩、犬の世話、犬を水あそびさせる
	釣りの下見	釣りの設備をし、釣りのポイントをさがす		カメラ	写真やビデオを撮影する		素振り	木刀などをふる
	釣りの準備	車から釣具をおろす・ゴム長などを着る		夕陽	夕陽を観賞する		体操	体操する
	魚とり	網・仕掛け・わな・くまで等で魚貝類をとる					散歩	特定の目的で特定の場所に移動する以外の移動
	水泳	全身が水につかる状態。		草つき	手で草をつむ		休憩	特定の活動をしていない滞留型行動
	水あそび	全身まで水につかることはない		草刈	カマなどで草を刈る		昼寝	体を横たえている(車中も含めて)
	水洗い	農作業道具や採取した魚貝類を流水で洗う		昆虫採集	虫など生物の採集		読書	本を読む
	取水	ポンプ車で川の水をとる(散水用)		採石	石をもっていく		詩詠み	俳句、短歌を詠む
	水汲み	バケツやペットボトルで水をくむ(魚飼育用)		探索	砂洲や草むらに分け入る		電話	携帯で電話をする(車中も含めて)
	カヌー	堰周辺の水面でカヌーをこぐ					遊び	水あそび以外のあそび
	ボート	堰周辺の水面でボートを操縦する		巡視	河川管理者等によるパトロール		投げ	ものをなげる(水に向かってではない)
	ラジコン	堰周辺の水面でラジコンボートを動かす		監視	禁漁期間・ユース上の監視		爆竹	爆竹を鳴らす
	水中観察	水中をのぞく、水辺の石をひっくりかえす		看板	伝統建造物の説明看板を読む		はしゃぐ	はしゃぐ
	触れる	水を手で触る		視察	伝統建造物の見学		用便	用便
	石投げ	水面に石を投げる					食事	弁当を食べる、おやつを食べる
	着替え	水にぬれてもいいものに着替える		談笑	複数の人が話を交わす		ゴミ整理	ゴミの後片付け
	後片付け	カヌーや釣り道具などの事後処理		つきそい	こどもにつきそう		ゴミ投棄	ゴミを捨てる
	運搬	カヌーなどを水面から駐車場まで運ぶ		合流	別行動をしていた人やあとから来た人と落ち合う		待機	相棒が別の活動をする間、戻ってくるのを待つ
	ひろう	濡れたこどもの帽子をひろう等		合図	手をきって合図を送る		駐車	車をとめる
							転回	車をUターンさせる
							駐輪	自転車やバイクをとめる

水に関係する行為は季節をととして出現するが、季節によって内容が異なる。季節によりとれる生物が違ふ採取行動(釣り、エビとり、シジミとり、カニとりなど)。夏は水泳や水あそびなど水に触れる行為が目立つ。

追跡記録した利用行動をGISで地図化した。Fig.6.17, Fig.6.18に分布図を示す。全調査日に共通する傾向としては、南岸、北岸それぞれへの点の集中が挙げられる。両岸への立ち寄りに加え、中ほどまで立ち入る場合にも両岸で何らかの行為をするため、両岸での数が多いと考えられる。

グループの設定

親水に関するステイクホルダーの満足関数を構築するためには、対象河川における親水レベルの大小を評価できる基準が必要となる。本研究では、萩原ら(1998)がまとめた「水辺デザインの目標」を基にして、HIMと同様各目標を5点満点で評価する方法をとった。水辺デザインの目標はTable.6.8にまとめる20項目であり、したがって各代替案は100点満点で評価される。



Fig. 6.16: 主な行為ごとの利用者数

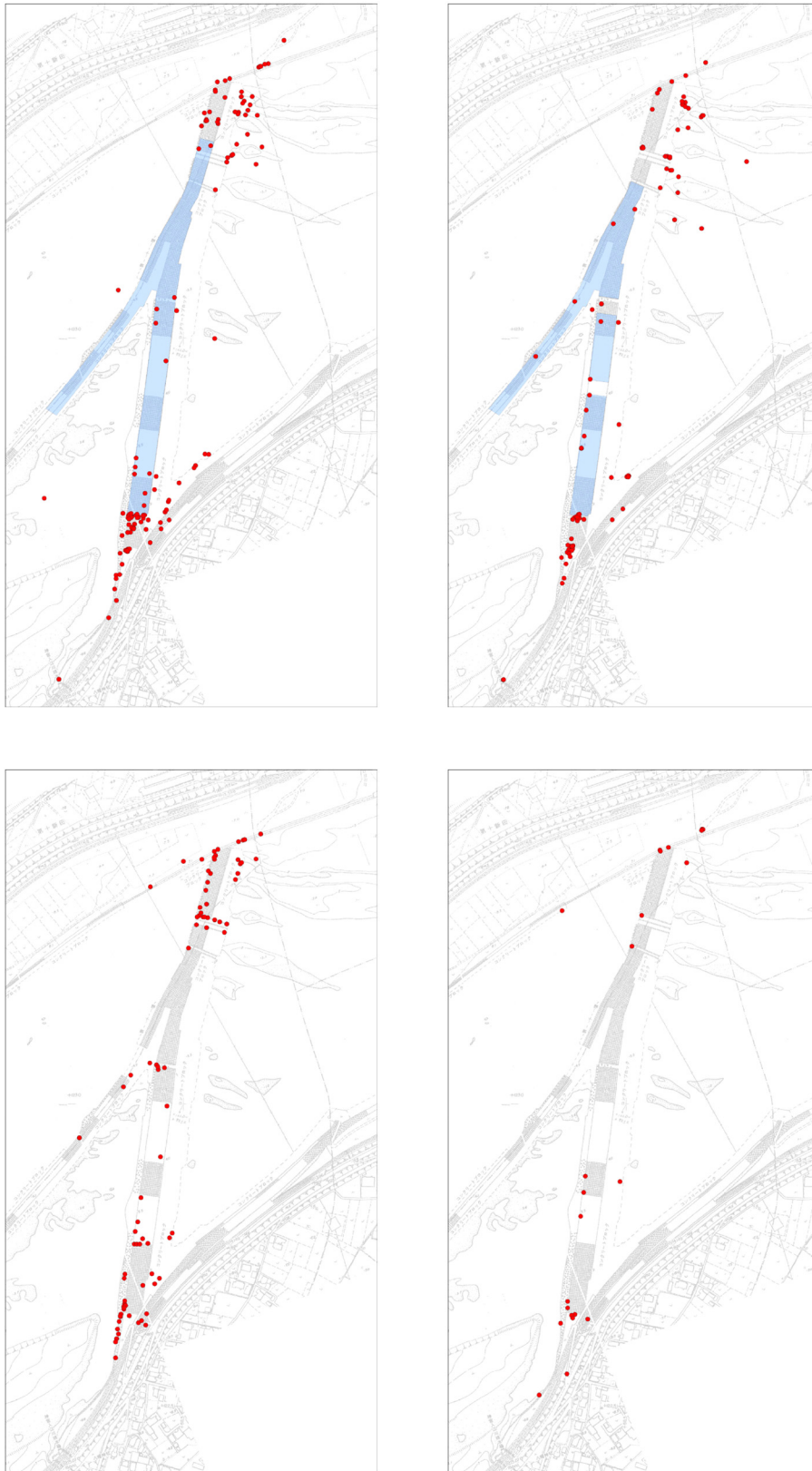


Fig. 6.17: 利用場所の分布（調査日別：上段左から 7 月 28 日，8 月 22 日，下段左から 11 月 10 日，11 月 11 日．青色は調査日における越流範囲を示す．）

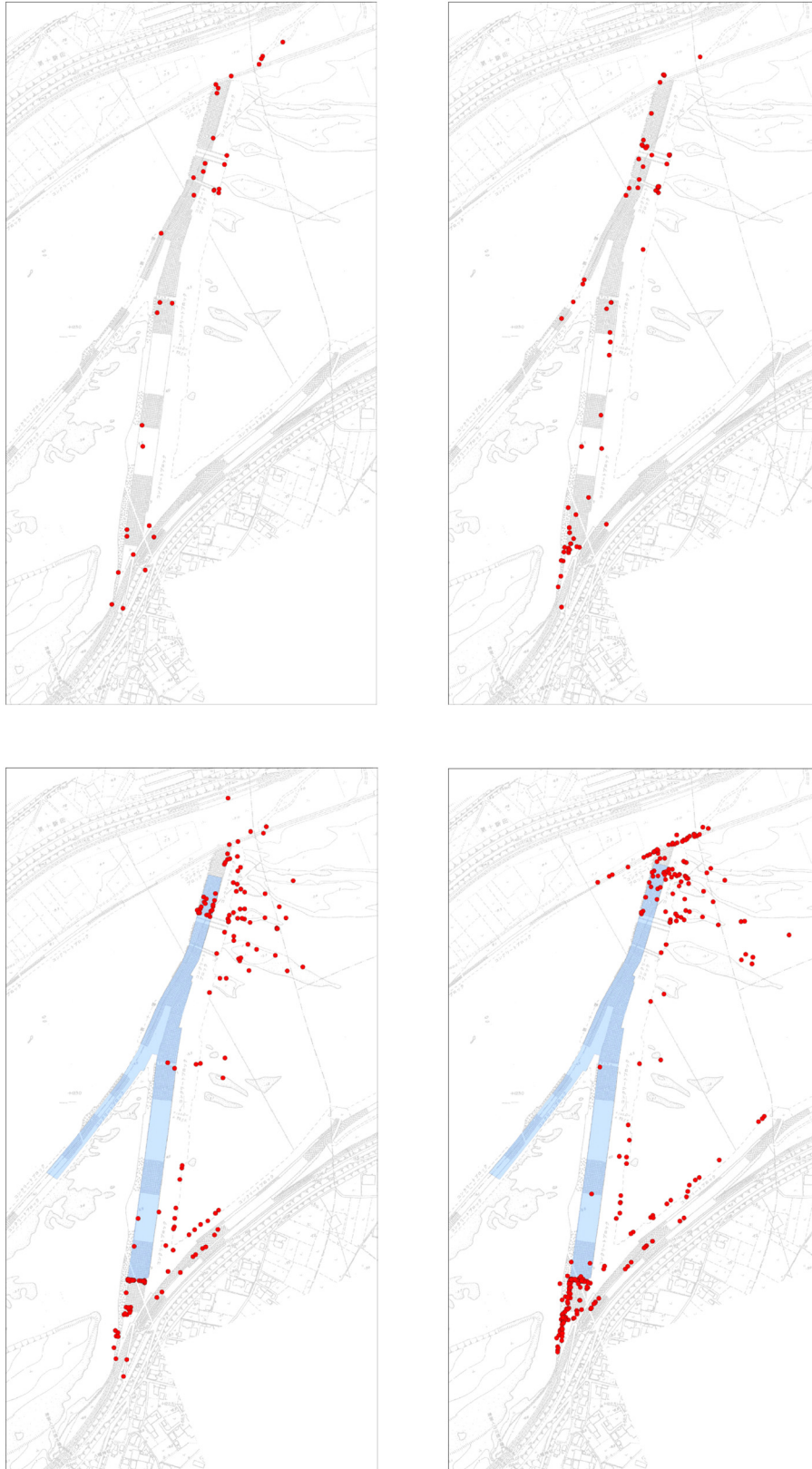


Fig. 6.18: 利用場所の分布（調査日別：上段左から2月16日，2月17日，下段左から5月12日，5月17日．青色は調査日における越流範囲を示す．）

Table. 6.8: 水辺デザインの目標と利用形態別必要項目（代替案の評価部分は6.3で利用）

水辺デザインの 基本目標	水辺デザインの目標	各利用に必要な項目				各代替案の評価 ○:5点, △:3点, ×:1点	
		憩い	水に触れる	生物	景観資源	現状維持	可動堰建設
水 辺 の 安 全 性	流水が清浄であること(衛生的)		○	○		○	△
	安全な空間であること	○	○	○		×	△
	見通しが良いこと	○	○	○		○	△
	危険箇所が認知できること	○	○	○		△	○
ア ク セ ィ ス ビ リ	見通しが良いこと	○	○	○	○	○	△
	歩きやすいこと	○	○	○	○	○	○
	近づきやすいこと	○	○	○	○	○	△
景 観 性	見通しが良いこと				○	○	△
	障害物・遮蔽物が無いこと				○	○	△
	変化に富んだ空間であること				○	○	×
	調和のある空間であること				○	△	×
	流水が清浄であること(透明な水)		○		○	○	△
	手入れされた空間であること	○	○		○	△	○
多 様 性	多様な空間から構成されていること		○	○	○	○	×
	多様な生物生息の場であること			○		○	△
	多様な遊びができること		○			○	×
	コミュニティの場であること	○				○	○
	愛護活動等の場であること	○				○	×
	文化・創作活動の場であること	○				○	△
	観察・採集・教育の場であること	○	○	○	○	○	○

利用実態調査の結果から、およそ20～30種の利用行為が観察され、また第十堰は越流の有無（季節や天候によって変わる）や採取可能な生物資源（季節によって変わる）、景観を際立たせるファクターの有無（花や夕陽など）によって卓越する利用行為が大きく変化することが明らかになっている。したがって本研究では、利用行為をその目的や形態から「憩いを目的とした行為」「水に触れることを目的とした行為」「生物に関連した行為」「景観資源を利用した行為」の4つに分類し、親水に関するステイクホルダーをこの4つの行為に従い4グループに分類した（それぞれ順にグループ1, ..., 4と呼ぶ）。

また各種の行為に必要な水辺の要素をTable.6.8の水辺デザインの目標より抽出し、各グループは行為の実施にあたりその要素のみ考慮すると仮定した。具体的には、各グループがある代替案によって受ける親水の程度を「親水レベル」と呼べば、これは

$$\text{親水レベル} = \frac{\sum_j (a_{ij} \times p_j)}{5 \sum_j a_{ij}} \quad (6.4)$$

ここで

i : グループ ($i = 1, 2, 3, 4$)

j : 水辺デザインの目標 ($j = 1, 2, \dots, 20$)

a_{ij} : グループ i が水辺デザインの目標 j を
考慮するときは1, 考慮しないときは0

p_j : 対象とする代替案の水辺デザインの
目標 j の得点 (1, 3, 5 点)

のように評価される。なお分母の $5 \sum_j a_{ij}$ は、考慮する要素の個数が異なるグループを統一的に評価するために、その最大値で割ることで基準化を行う項である。

必要度の算出

親水に関するステイクホルダーの必要グラフに関しては以下のような仮定を置いた。

1. どのグループの誰もが何らかの改善を望んでいる
2. どのグループでも最大値を望む人の数が最も多く、現状を望む人の数が最も少ない
3. 必要グラフの形状は線形で近似される

これらに従い、グループごとの必要グラフを設定したものが、Fig.6.19 である（各グループの必要グラフの形状は治水に関するステイクホルダーと同様、本研究の中で設定した仮想的なものであり、今後その調査が必要である）。また生態系に関するステイクホルダーと同様、最悪値における必要度を $\frac{5}{6}$ に合わせるためには、式 (4.18) より「親水レベル」が -0.6 であればよく、これを親水に関するステイクホルダーの最悪値として設定している。

また満足関数の曲線も同様に式 (6.1) を想定すると、最小二乗法により、親水に関するステイクホルダーの満足関数は Fig.6.20 のように得られる。各種親水行為にとって現状の評価が高く、プロットが上部に限られているため、関数としての妥当性は十分でないが、上に凸であるという傾向を再現することはできているので、この結果は次節の代替案評価に用いる。

6.3 代替案の評価

6.3.1 代替案がステイクホルダーに与える影響

代替案の評価を行うためには、可動堰建設がステイクホルダーやそのグループにもたらす影響を分析する必要がある。これについて、ステイクホルダーごとに下記のように設定した。

治水に関するステイクホルダー

第十堰が存在する場合には、せき上げによりその直上流側で破堤もしくは越流の生じる可能性が高くなると考えられる。可動堰が建設されればせき上げが生じなくなるために、破堤もしくは

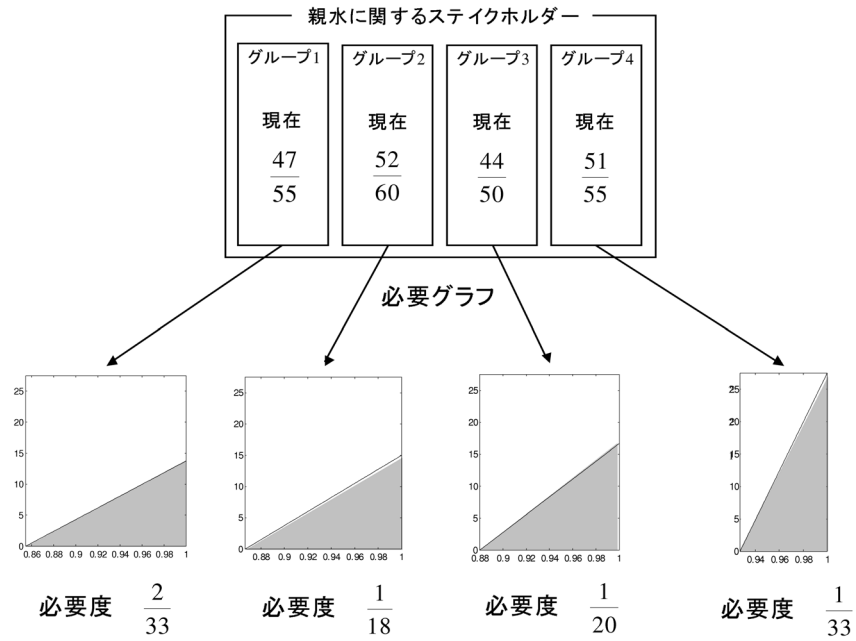


Fig. 6.19: 親水に関するステイクホルダーの必要度

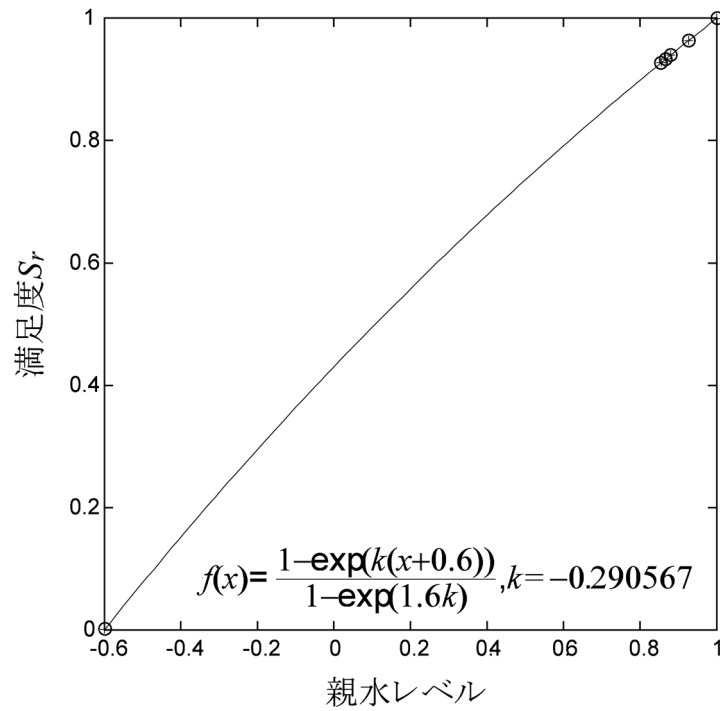


Fig. 6.20: 親水に関するステイクホルダーの満足関数

Table. 6.9: 代替案が治水に関するステイクホルダーに与える影響

治水グループ	人数	治水レベル		満足度		加重平均満足度	
		現状維持	可動堰建設	現状維持	可動堰建設	現状維持	可動堰建設
グループ1	1225	2	4	0.000	0.444		
グループ2	388	3	5	0.248	0.599		
グループ3	4760	4	6	0.444	0.721	0.553	0.789
グループ4	3414	5	7	0.599	0.817		
グループ5	6946	6	8	0.721	0.893		

グループ1	治水レベル2点の人々
グループ2	治水レベル3点の人々
グループ3	治水レベル4点の人々
グループ4	治水レベル5点の人々
グループ5	治水レベル6点の人々

越流の生じる確率は上下流域に平準化されるが、一方で上下流側の流域住民の洪水に対するリスクは高くなる。したがって可動堰建設が治水に関するステイクホルダーにもたらす影響を評価するためには、第十堰周辺住民のみならず上下流側の流域住民も加え、そのリスクの変化も分析に組み込むことが考えられる。

しかし河川の自然な姿というものを考えたときに、第十堰はたとえ歴史的・文化的な建造物であるとしても、人工物であることに変わりはない。つまりせき上げがなく不公平性の存在しない状態の方が自然であり、そちらを基準の状態と捉えるのが妥当だと考えられる。そこで本研究では、可動堰建設は、治水の面から見れば 6.2.1 で設定した治水に関するステイクホルダーが何らかの便益を受けるのみと考えることにする。

この便益の算出のためには、本来ならば現状と可動堰が建設された場合の破堤地点や氾濫状況の比較により、Fig.6.8 に示す治水レベルの変化を計算する必要がある。しかし 6.2.1 で述べたように、その検討のために十分なデータが存在しないため、以下のような仮定により便益を考慮する。すなわち、破堤・越流確率の上下流への平準化は、第十堰周辺住民の治水レベルに関して、「洪水伝播時間」と「最大浸水深」の双方に大きなメリットを与え、双方 1 点ずつ、合計 2 点の向上をもたらすと仮定する。

この治水レベルの向上が各グループの満足度に与える影響を Fig.6.11 から算出し、現状維持と比較したものを Table.6.9 に示す。合わせて、各グループの人数から式 (4.25) を用いて、各代替案の加重平均満足度を算出したものも示す。

生態系に関するステイクホルダー

可動堰建設が生態系に及ぼす影響を正確に予測することは困難で、Table.6.4 を用いても予測の不確実性を伴う項目が存在する。ここではその不確実性を考慮するために、可動堰建設による HIM への影響を「最良の予測」と「最悪の予測」に分け、十分な調査が行われていない現段階ではその平均値をもって可動堰建設が生態系に関するステイクホルダーに与える影響と考える。

現状維持と可動堰建設の各代替案による HIM の変化を現地調査や文献を基に設定したものを、Table.6.10 に示す。また、Table.6.5 に示した各魚種の HIM 不足分が代替案により変化する程度

Table. 6.10: 代替案ごとの HIM

魚種名	1	2	3	4	5
	川の連なり	細流・水路等のつながり	冠水率の高い水辺や伏流水	河床に大小の石	水深の大小
現状維持	3	1	5	3	5
可動堰建設～最良	5	1	3	3	3
可動堰建設～最悪	3	1	1	3	3

6	7	8	9	10	HIM合計点
流速の大小	水生植物	水辺林の連続性	水面への光	攪乱の度合い	
3	3	1	3	3	30
3	3	1	1	1	24
3	3	1	1	1	20

Table. 6.11: 魚種ごとの代替案別 HIM 不足分と被害度数

魚種名	現状維持	可動堰建設～最良	可動堰建設～最悪	可動堰建設～平均	被害度数
ギンブナ	0	0	2	1	1
アユ	4	6	8	7	3
ウグイ	2	4	6	5	3
オイカワ	4	6	8	7	3
コイ	0	0	2	1	1
カマツカ	6	8	10	9	3
ナマズ	10	14	16	15	5
ヌマチチブ	4	6	8	7	3
ドジョウ	2	6	8	7	5
ウキゴリ	4	8	8	8	4
トウヨシノボリ	6	10	14	12	6
モツゴ	4	8	10	9	5
ゲンゴロウブナ	0	0	2	1	1
カワムツB型	4	8	10	9	5
シマドジョウ	4	8	10	9	5
ウナギ	8	8	10	9	1
ブラックバス	0	0	0	0	0
ニゴイ	0	0	2	1	1
タイリクバラタナゴ	4	8	10	9	5
カワヨシノボリ	4	10	12	11	7
ブルーギル	0	0	0	0	0
ヤリタナゴ	6	12	14	13	7
ハス	2	6	6	6	4
チチブ	2	6	8	7	5
ギギ	8	10	12	11	3
アユカケ	4	8	8	8	4
カムルチー	0	0	0	0	0

Table. 6.12: 被害度降順

魚種名	被害度数
カワヨシノボリ	7
ヤリタナゴ	7
トウヨシノボリ	6
ナマズ	5
ドジョウ	5
モツゴ	5
カワムツB型	5
シマドジョウ	5
タイリクバラタナゴ	5
チチブ	5
ウキゴリ	4
ハス	4
アユカケ	4
アユ	3
ウグイ	3
オイカワ	3
カマツカ	3
ヌマチチブ	3
ギギ	3
ギンブナ	1
コイ	1
ゲンゴロウブナ	1
ウナギ	1
ニゴイ	1
ブラックバス	0
ブルーギル	0
カムルチー	0

(現状維持の HIM 不足分から可動堰建設の HIM 不足分への増加分を「被害度数」と呼ぶ)を示したのが Table.6.11 であり、この被害度数を降順で並べ替えたものが Table.6.12 である。この被害度数の大小が、可動堰建設による影響の大小を示すと考えられ、例えばカワヨシノボリやヤリタナゴは大きな影響を、ブラックバスやブルーギル、カムルチーはほとんど影響を受けないことを示している。

これらの代替案が各グループの満足度に与える影響を Fig.6.14 から算出したものを Table.6.13 に示す。また各代替案の加重平均満足度について、各魚種の存在量や資源としての有用性などを考慮して式 (4.25) を用いる方法が考えられるが、本研究の魚類に関するデータは第十堰周辺に生息する周縁魚、回遊魚、純淡水魚の種類に関するものであり、存在量等に関するデータは存在しない。また生物の多様性という観点からは、存在量よりも種数が重要なファクターと考えられるため、ここでは各グループの魚種数から式 (4.25) を用いて、各代替案の加重平均満足度を算出する。その結果についても、Table.6.13 に示す。

Table. 6.13: 代替案が生態系に関するステイクホルダーに与える影響

生態系グループ	魚種	HIM不足分		満足度		加重平均満足度	
		現状維持	可動堰建設	現状維持	可動堰建設	現状維持	可動堰建設
グループ1	1	-10	-15.00	0.565	0.232		
グループ2	2	-8	-10.00	0.673	0.565		
グループ3	3	-6	-11.33	0.769	0.485	0.870	0.713
グループ4	10	-4	-8.40	0.855	0.652		
グループ5	4	-2	-6.25	0.932	0.758		
グループ6	7	0	-0.57	1.000	0.981		

グループ1	ナマズ
グループ2	ウナギ、ギギ
グループ3	カマツカ、トウヨシノボリ、ヤリタナゴ
グループ4	アユ、オイカワ、ヌマチチブ、ウキゴリ、モツゴ、カワムツB型、シマドジョウ、タイリクバラタナゴ、カワヨシノボリ、アユカク
グループ5	ウグイ、ドジョウ、ハス、チチブ
グループ6	ギンブナ、コイ、ゲンゴロウブナ、ブラックバス、ニゴイ、ブルーギル、カムルチー

Table. 6.14: 代替案が親水に関するステイクホルダーに与える影響

親水グループ	行為数	親水レベル		満足度		加重平均満足度	
		現状維持	可動堰建設	現状維持	可動堰建設	現状維持	可動堰建設
グループ1	230	0.855	0.745	0.927	0.870		
グループ2	179	0.867	0.667	0.933	0.828	0.942	0.830
グループ3	176	0.880	0.680	0.940	0.835		
グループ4	253	0.927	0.600	0.964	0.792		

グループ1	憩いを目的とした行為
グループ2	水に触れることを目的とした行為
グループ3	生物に関連した行為
グループ4	景観資源を利用した行為

親水に関するステイクホルダー

現状維持と可動堰建設の各代替案による親水レベルの変化を現地調査や文献を基に設定したものを、Table.6.8に示す。おおむね現状維持の評価の方が高いが、安全性や手入れの程度などの項目について、可動堰建設の方が優位となる。

これらの代替案が各グループの満足度に与える影響を Fig.6.20 から算出したものを Table.6.14に示す。また各代替案の加重平均満足度について、ここでは5.2.3の利用実態調査で観察された行為の全数によってグループの重み付けを行い、式(4.25)を用いた評価を行った。その結果について、Table.6.14に示す。

6.3.2 代替案の評価

Table.6.9, Table.6.13, Table.6.14より、現状維持と可動堰建設の代替案選択が各ステイクホルダーの加重平均満足度(0~1)に及ぼす影響をレーダーチャート形式で図示したものが、Fig.6.21である。同様に、各グループの満足度に及ぼす影響を図示したものが、Fig.6.22である。このよ

うな図を作成することで、各代替案がどのようなステイクホルダー、どのようなグループにどの程度の影響を与えるのかを明確に示すことができ、より影響を受けやすいグループへの配慮を促すことができる。

この図から考察されるのは以下のようなことである。まず現状においては治水の得点が低く生態系や親水の得点が高いのに対し、可動堰を建設すれば、治水の得点が大きく上昇し生態系と親水の得点が減少するというトレード・オフの関係が確認される。また、可動堰建設の影響は全てのグループに同一ではなく、生態系で言えば例えばグループ1やグループ3に対して影響が強く、逆にグループ6にはほとんど影響がない。親水のグループは、他のステイクホルダーのグループと比して可動堰建設の影響は少ないが、その中でも最も影響を受けるのは景観資源を利用している人である。このように、河川開発と環境保全の価値を公正に評価し、代替案が個別のステイクホルダーに与える影響を捉えることのできる点が、本研究で提案したモデルと手法の特徴である。

また本研究の結果をステイクホルダーが見ることで、「可動堰は治水にこんなにより影響があったのか」とか「生態系にこんなに悪い影響があるのか」など、状況を客観的に眺めて自分の知らなかったことを知ることができ、コンフリクト解決に向けた建設的なやり取りをステイクホルダー間で行えるような動機付けを作ることが可能だと考えられる。

さらに、本研究で提案した満足関数は、ステイクホルダー間で相互比較が可能なものとなっているため、「治水」「生態系」「親水」に適切な重みを設定することで代替案の総合評価が可能である。4.3で述べたように、重みを決めるプロセスを合意形成の中に位置づけながら、従来のアプローチも含めて総合的に意思決定することが望まれる。

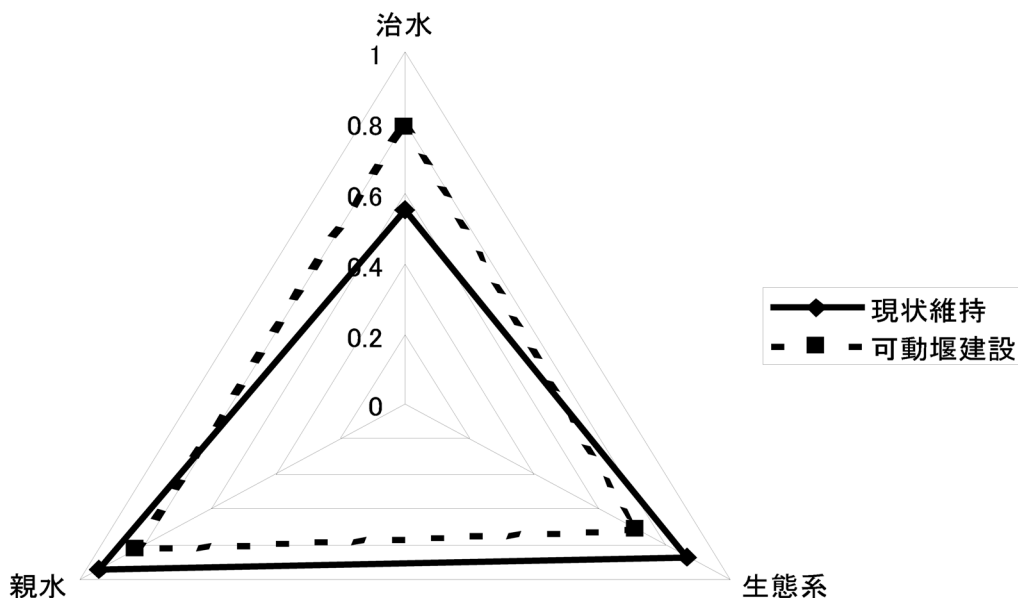


Fig. 6.21: 代替案選択が各ステイクホルダーに及ぼす影響

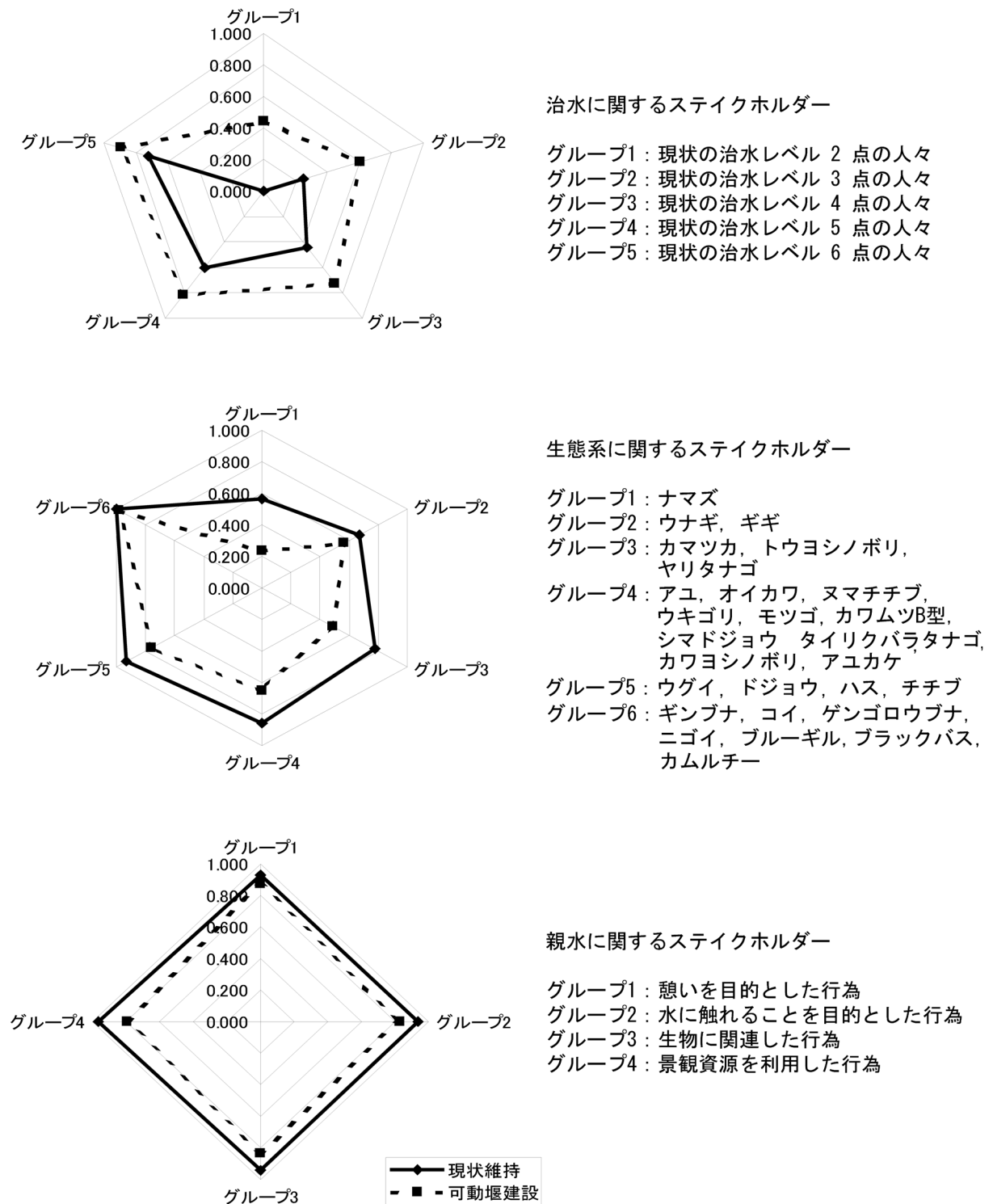


Fig. 6.22: 代替案選択が各グループに及ぼす影響

第7章 結論

7.1 結果の要約

本研究は、日本で河川開発と環境保全のコンフリクトが頻発する中、ステイクホルダーに社会的な視点を持たせ、合意形成やよりよい意思決定につなげることを目的として、多基準・多主体を前提として代替案を評価する手法の構築とその応用を行ったものである。本論文は7章により構成され、第1章から第6章において以下のことを明らかにした。

第1章では、河川開発を巡るコンフリクトが影響予測の不確実性により複雑なものとなっていること、また異常気象の頻発や土地利用構造の変化などにより今後一層コンフリクトが激化する可能性の高いことを明らかにした。またそのため、河川開発に関わるステイクホルダーが互いの立場の違いを理解し、合意形成の基に河川のあるべき姿を意思決定するための方法論の確立が急務であることを述べた。

第2章では、日本における河川開発と環境保全のコンフリクトについて要因分析を行い、既往研究のレビューとコンフリクト研究のフレームワークから本研究の位置づけについて述べた。コンフリクトの要因分析については、戦後から現在までの日本におけるダム・堰反対運動に関するデータを収集・整理し、近年では反対運動が急増し、治水計画を含む技術的な観点から運動を展開するケースが多くなっていることを明らかにした。また流域環境として、水質が良く、土地利用は自然と人工の中間程度か、やや自然的などの特徴を有するところで反対運動が生じやすいことを明らかにした。また、既往研究のレビューの中では、治水や利水、環境という多基準、また開発推進派や環境保全派のような多主体の存在を前提として、合意形成につながるような代替案の評価を行ったものが見あたらず、本研究を行うことの意義について述べた。

第3章では、多属性意思決定の手法を用いた代替案の評価手法のレビューを行い、河川開発と環境保全のコンフリクト問題への適用可能性について検討した。多属性意思決定手法を7つのカテゴリーに分類しレビューを行った結果、河川開発と環境保全のコンフリクト問題に適用可能なものは理想点に基づく手法と総合評価法の2種類であり、状況または目的により定性データに基づく手法、対話型情報収集に基づく手法、優越関係に基づく手法が活用できることを明らかにした。

第4章では、意思決定主体にとっての評価を表現する方法としてよく用いられる効用関数と価値関数の概要とそれを本研究に適用することの問題点を明らかにし、コンフリクト存在下における代替案の評価に関する新たな理論の構築を行った。効用関数や価値関数は、基本的に単一の主体の選好を明らかにするための理論であるため、それを複数のステイクホルダーに適用する上では、評価基準間の整合性の確認ができない、関数形を決めるための質問が分かりにくいといった問題が生じる。そこで本研究では、それらの関数に代わる満足関数というものを定義し、ステイクホルダー間で整合性の取れた満足関数を、必要度という概念の導入によって構築する手法を構築した。またこれを実際の合意形成の場面で活用する場合には、中立的立場の第三者の協力により Joint Fact Finding のプロセスを進めることが重要であることなどを述べた。

第5章では、吉野川第十堰問題を対象として、そのコンフリクトの経緯を文献調査や現地調査から述べ、合わせて第十堰や河川環境に対する住民意識の社会調査を実施することで、全国の他のコンフリクトから見た吉野川第十堰問題の特徴やコンフリクトの要因を明らかにした。その結果、吉野川第十堰問題は、可動堰建設に対して反対するために運動を始めたのではないこと、専門家らの協力により技術面から代替案を提示したこと、第十堰が一部の市民から愛着を持たれ親水空間として利用されていることなどの特徴を有していることが分かった。また住民間にも問題に対する認識の違いが見られ、これを解決することの重要性について述べた。

第6章では、第4章で構築した手法を吉野川第十堰問題に適用し、現状維持と可動堰建設という2つの代替案の評価を行った。本研究ではステイクホルダーを治水、生態系、親水に関するものの3種に分け、データ収集や文献調査、利用実態調査などからグループに分類し、各ステイクホルダーの満足関数を構築した。またそれを用いて代替案の評価を行い、現状においては治水の得点が低く生態系や親水の得点が高いのに対し、可動堰を建設すれば治水の得点が大きく上昇し生態系と親水の得点が減少するというトレード・オフの関係などを定量的に明らかにした。

7.2 今後の課題

本研究の今後の課題は以下の通りである。

代替案評価の方法論について

本研究では河川開発と環境保全のコンフリクトに関連する複雑な現象・状況を単純化（モデル化）し、最終的に有限の代替案が有限の評価軸に与える影響を「満足関数」というものにスケールリングして提示している。その過程においては、情報の取捨選択やモデル化の場面で様々な仮定や不確実性を含む。これは Fig.2.12 に示される各段階で生じるが、大別すると以下の通りである。

1. ステイクホルダーの設定
2. 評価基準の設定
3. 因果関係モデルの構築（モデル構造，モデルパラメータ）
4. 代替案の設計
5. 代替案のモデル入力データへの変換
6. 尺度化の方法
7. 評価基準の変域設定
8. 評価基準間の整合性の評価
9. 総合評価の方法

1. について、本研究ではステイクホルダーを「河川開発を行うこと（または行わないこと）によって直接的な便益もしくは被害を被る集団のこと」と定義し、特定の評価基準についてその改善を志向する仮想的な集団（ただし志向の度合いは人により異なる）であると考え、このステイクホルダー単位で代替案を評価する考え方を提案した。しかし実際には、全ての流域住民がいずれかのステイクホルダーに当てはまる訳ではなく、「治水と環境の狭間で悩んでいる」というようにいずれのステイクホルダーにも該当しない住民も多数存在すると考えられる。本研究はステイクホルダーに社会的な視点を持たせ、合意形成やよりよい意思決定につなげることを目的としたものであるため、必ずしも現実の状況を正確にモデル化する必要はないが、現実の状況との大きな乖離が認められる場合には評価結果自体の信頼性にも疑問が生じる。またステイクホルダー単位の評価では、河川開発の計画時に問題となる効率性と公平性の評価が不可能である。

2. について、評価基準の設定は当該コンフリクトにおいて何が重要なかを規定することと同値であるため、代替案評価の上で最も重要なプロセスであるといえる。例えば自然環境に関する軸を「環境」という一つの軸で集約するのか、「水質」と「生態系」に分けて評価するのかなどは、最終的なアウトプットに大きく影響する。したがって評価基準の設定においても多くの参加者との合意の基で決定すべきであるが、その方法論や、不確実性が結果にもたらす影響などを検討できていない。

3. や5. について、モデルというツールを扱う限りこれらの不確実性は避けられないことではあるが、当該コンフリクトにおける問題や代替案による変化をできる限り再現・予想できるモデル化を常に心がけなければならない。

6. について、満足関数に関しては、関数形の中に時間軸の概念が入っていないために、情報の提供、社会情勢の変化、災害の生起、合意形成のプロセスなどの中で刻々と変化する人々の意識を計画の中でどう考えるのか、検討ができていない。例えば洪水が起こった直後と長期間起こっていない状況下では、治水に対する志向は大きく違うと考えられ、人々の意識の変化と計画との関連性についてさらなる考察が必要である。

また満足関数の構築にあたっては必要度の情報が必要であるが、これは基本的にステイクホルダーの表明選好（Stated Preference）に基づきモデル化されるため、「ただ乗り」やバイアスなどの問題を避けられず（大野, 2000）、顕示選好（Revealed Preference）と合わせた評価方法などの検討が必要である。

7. について、変域を設定するということは、最大値以上、あるいは最小値以下の現象については考慮しないということを意味する。河川開発のように今後50年、100年といった長期スパンを見越した計画を策定するにあたっては、その仮定が果たして妥当と言えるのか、十分な検討と合意が必要である。

6. や8., 9. について、満足関数という尺度化の手法や必要度に基づく整合性の評価手法は、あくまで本研究で提案した一つの手法に過ぎず、その他の手法との比較検討や唯一性などについては十分検討できていない。また総合評価の手法も、第3章に挙げたように非常に多くのものがあり、そのどれを採用するかによって多くの場合結果が変わると考えられる。

以上のように本研究で提案した手法は、いくつもの仮定や不確実性を含んでおり、これらはいずれも本質的な課題である。しかし、河川開発がもたらす多様な側面への影響を評価し、多様な主体がお互いの認識を共有して合意形成に至れるような技術情報の提供を行う、そのためには多様な軸の共通軸への変換と総合評価がどうしても必要というのが本研究の立場であり、上記の仮

定・不確実性については分かった上で使うというのが正しいアプローチであると考えられる。具体的には、結果に至るまでに置いた仮定や、各種不確実性に伴う結果の感度分析を、代替案の評価結果と合わせて提示することが何よりも重要である。

吉野川第十堰問題における評価方法と代替案の設計について

第6章では代替案評価の方法論を吉野川第十堰問題に適用したが、評価方法として不十分な点もある。

治水に関するステイクホルダーについては、治水レベル (Fig.6.8) という指標を構築し、「洪水伝播時間」と「最大浸水深」の観点からこれらを得点化することで設定したが、流速や地形など、他の要素も考慮することでより洪水に対する実際的な安全性を示す指標とする必要があること、洪水伝播時間の1点と最大浸水深の1点などで安全性に対する差が同一と言えるのかについての検証が必要なことなどの課題がある。例えば洪水被災直後の地域などに対してアンケート・現地調査などを実施することで、洪水に対する安全性とは何か、本質的な議論を行っていくことが必要である。

生態系に関するステイクホルダーについては、人が魚類の気持ちを代弁する、つまり「魚類の代弁者」として HIM 不足分 (式 (6.2)) による評価を行った。そのような生態系に対する倫理的な価値を評価することも重要であるが、人間でないものが主体となって訴訟を起こすことは現在の日本の法的枠組みの中では不可能で、魚類に対する影響がどのように社会にフィードバックされるのか (例えば漁業への影響)、それをどう評価するのかといった検討も合わせて必要である。

親水に関するステイクホルダーについては、第十堰を親水空間として利用している人々を対象としてその親水レベルを設定したが、第十堰を利用しなくともその存在価値や遺贈価値、つまり非利用価値によって便益を受けている人々も存在する。例えば土木学会の吉野川第十堰技術評価特別委員会では、土木史評価班の報告において「第十堰という河川構造物を河川開発史また土木史という視点で考える場合、地先住民や河川管理者の試行錯誤、さらに苦心や努力の積み重ねという点は重要で、第十堰は、300年近くに亘って現役の分流堰として残されている点において、土木史上の価値が認められる」と述べられており (土木学会吉野川第十堰技術評価特別委員会, 2007)、第十堰に関しては利用価値にとどまらない評価を検討することが必要である。

また必要グラフについてはいくつかの仮定を基に設定しているため、今後社会調査に基づく再設定が必要である。さらに、各評価モデル間の精度の違いに関する検討もできておらず、軸の総合化のためにはさらなる検討が必要である。

代替案の設計について、現状維持と可動堰建設という二つの代替案について検討したが、第十堰の堰形態の変更など、第十堰の保存の仕方についても多様な代替案が考えられる。これについては、代替案設計のための基礎調査が不足していたこと、評価モデルが単純で考慮できる形でなかったことなどから、本研究では取り組めなかった。また代替案としては、第十堰のあり方のみならず、避難経路の見直し、ハザードマップなどの情報の提供、水害補償制度の整備、堤防の補強、遊水池の整備など、上下流における対応を含め多様な対策が取れるが、これらの検討や評価についても本研究では行えなかった。

一方で、不十分ながらも何らかの評価手法を検討して公表することで、上記のように「このような視点が足りない」などの意見を参加者から引き出すことができる。合意形成のためには、対

象とするコンフリクトに関して何が重要か、何が問題かといったことに関する議論のプロセスも大変重要であり、代替案の評価にあたって「考慮できていること」と「考慮できていないこと」を共通認識として持つことが必要不可欠である。代替案の設計についても、まずは両極端な二つの代替案の評価を提示することで、その間にある解を全員で探るというプロセスを共有することも可能となるため、「できたところから公表し、できていないところは参加者全員でその解を探っていこう」という意識を持つことが全てのステイクホルダーに必要である。

研究成果の活用方法について

4.3.2において、本研究で構築した代替案の評価手法を合意形成に展開させる方法について検討した。しかし、河川整備計画の策定が始まっている吉野川流域において、具体的にどの場面、どのような形で代替案の評価を提示し、それをどう活用して議論や合意形成を進めていけばよいのかを論じられていない。具体的には、代替案の評価について議論する場を誰がどのようにするのか、中立的な第三者はどのような形で議論に関与すべきか、満足関数という新しい概念を住民にどう理解してもらうのか、評価軸間の重みをどうやって決めるのか等である。これらを明らかにするためには、実際に流域住民の参加によるワークショップを開催し、方法論について検討しなければならないし、またその結果について行政や市民グループに説明し、ラウンドテーブル作りに向けた活動を行わなければならない。

また、代替案の評価とそれに基づく合意形成のプロセスが現在の社会制度の中では位置づけられていないことも、実際の活用にあたっては障壁となる。1997年に改正された河川法において、住民の意見を計画に結び付けるための手段としては「公聴会の開催等必要な措置（河川法第16-2条）」とあるのみで、代替案の評価や合意形成に関する仕組みが規定されていない。そうした社会状況も踏まえた上での活用方法についても検討しなければならない。

本研究で提案した手法が机上の空論に終わらないためにも、以上の観点からその有効性について検証することは非常に重要であるが、それができていない。

以上に示すように、本研究は数多くの課題を残したが、河川開発の代替案を多様な側面から評価し、合意形成につなげる方法論の構築を行った点でこれまでにないものである。河川開発と環境保全のコンフリクトでは、ステイクホルダーがそれぞれの主張を展開するだけという状況に陥りがちであるが、本研究がそれを解決に導くための第一歩となることが期待される。

参考文献

- Arrow, K.J.: Social Choice and Individual Values, Wiley, New York, 1963.
- Asano, S., Isgar, A., Murakami, S., Nagahashi, T., Sato, Y., Yasuba, K.: Hands-on Action Proposals to Enhance the Traditional Daiju Weir on the Yoshino River and Leverage Citizen Power, The 5th Pacific Rim Conference on Participatory Community Design, 2004.
- Barrow, C.J.: Social Impact Assessment, ARNOLD, 2000.
- Boadway, R., Bruce, N.: Welfare Economics, Basil Blackwell, 1984.
- Brans, J.P., Vincke, P.: A preference ranking organization method: The PROMETHEE method for MCDM, Management Science, 31(6), pp.647-656, 1985.
- Dyer, J.S. and Sarin, R.K.: Measurable Multiattribute Value Functions, Operations Research, 27(4), pp.810-822, 1979.
- Geoffrion, A.M. et al.: An interactive approach for multi-criterion optimization, with an application to the operation of an academic department, Management Science, 19(4), pp.357-368, 1972.
- Haimes, Y.Y. et al.: Multiobjective Optimization in Water Resources Systems, Elsevier, 1972.
- Hwang, C.L., Yoon, K.P.: Multiple attribute decision making, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, New York, 1981.
- Keeney, R.L.: Utility Functions for Multiattributed Consequences, Management Science, 18, pp.276-287, 1972.
- Keeney, R.L., Kirkwood, C.W.: Group Decision Making Using Cardinal Social Welfare Functions, Management Science, 22, pp.430-437, 1975.
- Keeney, R.L., Raiffa, H.: Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs, Cambridge University Press, 1993.
- McCreary, S., Gamman, J., Whitman, L., McInerny, A.: Facilitating Negotiated Agreements to Restore the Environmental Quality of the San Francisco Estuary, In: Hester, R.T., Kweskin, C. (Eds), Democratic Design in the Pacific Rim: Japan, Taiwan, and the United States, Saline, Michigan, pp.134-161, 1999.

- McCreary, S., Goto, T., Cheng, H.E.: Using Independent Scientific Review to Strengthen Public Participation in Environmental Decision-Making in the Pacific Rim, In: John K.C. Liu et al. (Eds), Building Cultural Diversity through Participation, 中華民國行政院文化局建設委員會, 2001.
- Nagahashi, T., Murakami, S., Isgar, A., Sato, Y., Yasuba, K., Asano, S.: Citizen Participation in Environmental Planning: by and for the people or by and for the government? Spinning the public participation process in flood control planning on the Yoshino River in Tokushima, Japan, The 4th Pacific Rim Conference on Participatory Community Design, 2002.
- Nash, J.F.: The Bargaining Problem, *Econometrica*, 18, pp.155-162, 1950.
- Nijkamp, P., Delft, A.: Multi-Criteria Analysis and Regional Decision-Making, Springer, 1977.
- Raiffa, H.: Arbitration Schemes for Generalized Two-Person Games, In: Kuhn, H.W., Tucker, A.W. (Eds), Contributions to the Theory of Games, II (*Annals of Mathematics Studies*, 28), Princeton Univ. Press, 1953.
- Roy, B.: The Outranking Approach and the Foundations of Electre Methods, *Theory and Decision*, 31(1), pp.49-73, 1991.
- Sakamoto, M., Hagihara, Y.: A Study on Social Conflict Management in a Water Resources Development -A Case of the Conflict between India and Bangladesh over Regulation of the Ganges River-, *Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources*, 18(1), pp.11-21, 2005.
- Sato, Y., Hagihara, Y.: Decision-making System under the Conflict Situation between Water Resources Development and Environmental Conversation, DPRI-IIASA 3rd International Conference on Integrated Disaster Management, 2003.
- Sen, A.: On Economic Inequality, Oxford University Press, 1973.
- Susskind, L., Cruikshank, J.: Breaking the Impasse: Consensual Approaches to Resolving Public Disputes, Basic Books, 1989.
- Tyler, T.R.: Conditions leading to value-expressive effects in judgements of procedural justice: A test of four models, *Journal of Personality and Social Psychology*, 52, pp.333-344, 1987.
- von Neumann, J. and Morgenstern, O.: *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press, 1947.
- Yoon, K.P., Hwang, C.L.: Multiple Attribute Decision Making An Introduction, a Sage University Paper, 1995.
- 青木俊明・鈴木温：社会資本整備における賛否態度の形成：公正の絆理論と態度変容モデルの統合，*実験社会心理学研究*，45(1)，pp.42-54，2005。
- 青木俊明・星光平・佐藤崇：集団状況における協力意向の形成機構－同調圧力と手続き的公正が肯定的に作用する場合－，*土木学会論文集 D*，62(1)，pp.43-53，2006。

- 「青の革命と水のガバナンス」研究グループ：吉野川（水系）流域委員会の新規設置に際しての提言，2006a.
- 「青の革命と水のガバナンス」研究グループ：流域委員会研究，Blue Revolution Publication，4，2006b.
- 明日の吉野川と市民参加のあり方を考える懇談会：第十堰問題のいい解決に向けて／最終提言，2001.
- 足立重和：公共事業をめぐるディスコミュニケーションー長良川河口堰問題を事例として，都市問題，93(10)，pp.43-56，2002.
- 飯塚敏夫：計画高水流量に関するゲーム論的研究，京都大学博士論文，1979.
- 石谷久・石川眞澄：社会システム工学，朝倉書店，1997.
- 依田高典：不確実性と意思決定の経済学，日本評論社，1998.
- 今井一：住民投票 観客民主主義を超えて，岩波書店，2000.
- 大野栄治編著：環境経済評価の実務，勁草書房，2000.
- 大洞久佳・大野栄治：利用価値計測のみによる環境経済評価の可能性，環境システム研究論文集，30，pp.45-54，2002.
- 岡田憲夫・キース.W. ハイプル・ニル.M. フレイザー・福島雅夫：コンフリクトの数理ーメタゲーム理論とその拡張ー，現代数学社，1988.
- 岡田憲夫：コンフリクトの構図 切り口としてのゲーム理論，土木学会誌，87，pp.25-28，2002.
- 帯谷博明：ダム建設をめぐる環境運動と地域再生 対立と協働のダイナミズム，昭和堂，2004.
- 恩田裕一・平岡真合乃・伊藤俊・加藤弘亮・水垣滋：振動ノズル型散水装置を用いた人工林斜面における浸透能測定と浸透能推定法の提案，水文・水資源学会 2007 年度研究発表会要旨集，pp.130-131，2007.
- 開発問題研究所：検証-長良川河口堰，開発問題研究所，1991a.
- 開発問題研究所：続検証-長良川河口堰，開発問題研究所，1991b.
- 柿崎恒美：長良川河口堰の最近の状況，河川，658，pp.52-56，2001.
- 川又邦雄：市場機構と経済厚生，創文社，1991.
- 環境省：戦略的環境アセスメント導入ガイドライン，2007.
- 気象庁：気候変動監視レポート 2006，2006.
- 北川石松・天野礼子：巨大な愚行 長良川河口堰 政・官・財癒着の象徴，風媒社，1994.
- 金再奎・佐藤祐一・高田俊秀・五味馨・田中吉隆：滋賀をモデルに持続可能な社会像を描く，滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター 試験研究報告書，2，pp.17-24，2007.

- 桐山孝晴・鈴木学：国民等との対話を促進する行政機能・手法のあり方に関する研究～アメリカ・イギリスの事例を参考として～，国土交通政策研究，2，2001.
- 蔵治光一郎・保屋野初子：緑のダム 森林・河川・水循環・防災，築地書館，2004.
- 蔵治光一郎：森林の保水力に関する意見書，社会資本整備審議会河川分科会河川整備基本方針検討小委員会（第40回）配付資料，2006.
- 栗城稔，末次忠司，海野仁ら：関川水害時の避難行動分析，土木研究所資料，3536，1998.
- 桑子敏雄：河川環境の再生と住民意識，地球環境，8(1)，pp.75-79，2003.
- 桑子敏雄：知の創造と合意形成，第1回横幹連合コンファレンス，pp.67-68，2005.
- 建設省四国地方建設局：第十堰改築事業に関する技術報告書（治水編），1995.
- 建設省四国地方建設局：第十堰環境調査報告書 自然環境の現況編，1996.
- 合意形成研究会：カオス時代の合意学，創文社，1997.
- 国土交通省：水文水質データベース，<http://www1.river.go.jp/>，2007年11月アクセス.
- 国土交通省河川局：社会資本整備審議会河川分科会河川整備基本方針検討小委員会（第20回）配付資料，2005.
- 国土交通省河川局：「緑のダム」が整備されればダムは不要か，http://www.mlit.go.jp/river/opinion/midori_dam/midori_dam_index.html，2007年10月アクセス.
- 国土交通省四国地方整備局：吉野川水系河川整備計画の策定に向けて，2006.
- 国土交通省四国地方整備局：吉野川水系河川整備計画【再修正素案】，2007.
- 国土交通省徳島河川国道事務所：第十堰上流の堤防が決壊した場合の洪水氾濫区域図～浸水深～1/50,000，2002a.
- 国土交通省徳島河川国道事務所：第十堰上流の堤防が決壊した場合の洪水氾濫区域図～時間経過～1/50,000，2002b.
- 国土交通省徳島河川国道事務所：平成16年度 台風16号による吉野川の出水速報，2004a.
- 国土交通省徳島河川国道事務所：平成16年度 台風23号による吉野川の出水速報，2004b.
- 国土交通省徳島河川国道事務所：平成17年度 台風14号による吉野川の出水速報，2005.
- 国土交通省徳島河川国道事務所：平成19年度 台風4号による吉野川の出水速報，2007.
- 佐伯胖：「決め方」の論理 社会的決定理論への招待，東京大学出版会，1998.
- 榊原弘之・加来尚徳：ゲーム的合意形成における意見集約メカニズムの影響に関するモデル分析，土木学会論文集，793/ -68，pp.1-11，2005.

- 坂本麻衣子・萩原良巳：長良川河口堰問題を対象とした開発と環境のコンフリクトに関する分析，水文・水資源学会誌，18(1)，pp.44-54，2005a.
- 坂本 麻衣子・萩原 良巳：水資源計画における社会的コンフリクトのマネジメントに関する研究，水文・水資源学会誌，18(1)，pp.11-21，2005b.
- 坂本 麻衣子・萩原 良巳：水資源コンフリクトにおける Third Party の調整効果に関する研究，地域学研究，35(2)，pp.295-308，2005c.
- 佐藤祐一・萩原良巳・内藤正明：水資源開発に伴うコンフリクトと合意形成を考慮した意思決定システムの提案，土木学会環境システム研究論文集，30，pp.215-222，2002.
- 佐藤祐一・萩原良巳：河川開発と環境保全のコンフリクト存在下における意思決定システムに関する研究，地域学研究，34(3)，pp.107-121，2003.
- 佐藤祐一・萩原良巳：水資源開発におけるステイクホルダー間のコンフリクトと合意形成を考慮した代替案の評価モデルに関する研究，水文・水資源学会誌，17(6)，pp.635-347，2004a.
- 佐藤祐一・萩原良巳：住民意識に基づく河川開発代替案の多元的評価モデルに関する研究，土木学会環境システム研究論文集，32，pp.117-126，2004b.
- 佐藤祐一・萩原良巳：河川開発と環境保全のコンフリクト存在下における意思決定システム，萩原清子編著，環境の評価と意思決定，pp.197-215，2004c.
- 四国水問題研究会：吉野川水系に係る水問題の現状・課題について，第一回四国水問題研究会資料 2006.
- 柴田久・土井健司：都市基盤整備におけるコンフリクト予防のための計画プロセスの手続的信頼性に関する考察，土木学会論文集 D，62(2)，pp.213-226，2006.
- 嶋津暉之：21 世紀の水利用のあり方，天野礼子編，21 世紀の河川思想，共同通信社，1997.
- 志水清孝：多目的と競争の理論，共立出版株式会社，1982.
- 清水丞・萩原清子・萩原良巳：SP データを活用した水辺の環境評価，環境システム研究論文発表会講演集，28，pp.81-92，2000.
- スタイニッツ,C.ら著・矢野桂司・中谷友樹訳：地理情報システムによる生物多様性と景観プランニング カリフォルニア州キャンブ・ペンドルトン地域の選択的将来，地人書房，1999.
- 瀬尾美巳子：多目的評価と意志決定，日本評論社，1984.
- 高野伸栄・鈴木聡士：代替案修正ベクトル法による合意形成支援システムに関する研究，土木学会論文集，716/ -57，pp.11-20，2002.
- 高橋祥起：公共事業と住民投票，建設業界，49(10)，2000.
- 田村坦之，中村豊，藤田眞一：効用分析の数理と応用，コロナ社，1997.
- 堤武・萩原良巳編著：都市環境と雨水計画 リスクマネジメントによる，勁草書房，2000.

- 土井健司・中西仁美・杉山郁夫・柴田久：QoL 概念に基づく都市インフラ整備の多元的評価手法の開発，土木学会論文集 D，62(3)，pp.288-303，2006.
- 土木学会吉野川第十堰技術評価特別委員会：吉野川第十堰技術評価特別委員会 報告書，2007.
- 内閣府：防災白書，2007.
- 永橋為介：市民とデザイナー 共同の可能性，齋藤潮・土肥真人編著，環境と都市のデザイン，学芸出版社，2004.
- 二宮仁志：公共インフラ整備における合意形成プロセスのドラマ理論的分析，土木学会論文集 F，62(1)，pp.101-116，2006.
- 日本弁護士連合会：川と開発を考える，実教出版，1995.
- ネイカンブ,P. 著，藤岡明房・萩原清子・金沢哲雄監訳：環境経済学の理論と応用，勁草書房，1985.
- ネイカンブ,P.・デルフト,V.・リートヴェルト,P. 著，金沢哲雄・藤岡明房訳：多基準分析と地域的意思決定，勁草書房，1989.
- 萩原良巳・萩原清子・高橋邦夫：都市環境と水辺計画－システムズ・アナリシスによる－，勁草書房，1998.
- 萩原良巳・坂本麻衣子：コンフリクトマネジメント 水資源の社会リスク，勁草書房，2006a.
- 萩原良巳・佐藤祐一：住民意識に基づく河川開発代替案の多元的評価，亀田弘行編著，総合防災学への道，pp.476-501，2006b.
- 羽鳥剛史・小林潔：社会基盤整備における信頼と第三者評価，土木学会論文集 D，62(3)，pp.442-459，2006.
- 林田智弘・西崎一郎・上田良文・片桐英樹：多属性効用分析を用いた森林保全政策の選定，知能と情報，18(1)，pp.70-80，2006.
- 久野万太郎：検証・長良川情報戦争，同友館，1993.
- 姫野雅義：吉野川における「緑のダム」研究 森の手入れで洪水はどのくらい防げるか，高木基金助成報告集，1，pp.50-54，2004.
- 福野光輝：公共事業における紛争解決手続きの選好：利害関心の認知の効果，実験社会心理学研究，45(1)，pp.55-64，2005.
- 福本潤也：環境評価と社会的意思決定，国際環境協力，2，pp.99-114，2002.
- 藤井聡：行政に対する信頼の醸成条件，実験社会心理学研究，45(1)，pp.27-41，2005a.
- 藤井聡：意思決定研究と公共政策，知能と情報，17(6)，pp.679-684，2005b.
- 堀江典子・萩原清子：多基準分析，萩原清子編著，環境の評価と意思決定，東京都立大学出版会，pp.53-71，2004.

- 松岡譲：定量的バックキャスティング法の開発提案，滋賀県持続可能社会研究会資料，2006.
- 村上修一・永橋為介・安場浩一郎・アロン イスガー・佐藤祐一：河川環境に対する流域住民の認識・評価と利用実態の空間情報化に関する研究 報告書，河川環境管理財団 河川整備基金助成事業，2002.
- 村上修一・浅野智子・アロン イスガー・佐藤祐一・永橋為介・安場浩一郎：歴史的頭首工の親水空間としての可能性－吉野川第十堰の利用観察調査をとおして，日本建築学会四国支部研究報告集，4，pp.89-90，2004a.
- 村上修一・浅野智子・アロン イスガー・佐藤祐一・永橋為介・安場浩一郎：四国吉野川下流域における河川と人の関わり方の変化に関する研究 報告書，河川環境管理財団 河川整備基金助成事業，2004b.
- 村上哲生・西條八束・奥田節夫：河口堰，講談社，2000.
- 森下郁子・森下雅子・森下依理子：川の H の条件，山海堂，2000.
- 森下一男・土井健司・漆原敦・森田秀則：ワークショップによる地域資源活用案の多元的評価と合意形成プロセスに関する研究－廃止予定ため池の活用案を対象として－，農村計画論文集，7，pp.169-174，2005.
- 森滝健一郎：現代日本の水資源問題，汐文社，1982.
- 吉川和広：最新土木計画学－計画の手順と手法，森北出版，1975.
- 吉野川流域ビジョン 21 委員会：吉野川可動堰計画に代わる第十堰保全事業案と森林整備事業案の研究成果報告書，2004.

表一覧

2.1	各年代に生じた反対運動	7
2.2	ジオに係る主成分分析の結果	10
2.3	エコに係る主成分分析の結果	11
2.4	ソシオに係る主成分分析の結果	11
3.1	各代替案の目的関数の値	28
3.2	目的関数を最適にする決定変数	32
3.3	二つの社会厚生関数	44
3.4	多属性意思決定手法のまとめ	48
5.1	予備調査から決定したアンケート本調査の内容	78
6.1	基準地点岩津の近 10 年における主な洪水の概要 (国土交通省徳島河川国道事務所, 2004a,b, 2005, 2007; 国土交通省四国地方整備局, 2007)	88
6.2	吉野川浸水想定区域図作成にあたっての前提条件	91
6.3	治水レベルとその人口	95
6.4	HIM の項目と点数のつけ方	98
6.5	現状維持の HIM と魚種ごとの要求度・不足分	100
6.6	各調査日の概要	104
6.7	観察された行為の一覧	104
6.8	水辺デザインの目標と利用形態別必要項目 (代替案の評価部分は 6.3 で利用)	108
6.9	代替案が治水に関するステイクホルダーに与える影響	111
6.10	代替案ごとの HIM	112
6.11	魚種ごとの代替案別 HIM 不足分と被害度数	112
6.12	被害度降順	112
6.13	代替案が生態系に関するステイクホルダーに与える影響	113
6.14	代替案が親水に関するステイクホルダーに与える影響	113

図一覧

1.1 都市用水に関する長期水需要予測と実績 (嶋津, 1997)	2
1.2 日本の年降水量平年比 (気象庁, 2006)	3
1.3 短時間集中豪雨の変遷 (内閣府, 2007)	3
1.4 研究の構成	5
2.1 反対理由の変遷	8
2.2 ジオ・エコ・ソシオシステム	9
2.3 流域別ダム・堰反対運動	13
2.4 主成分分析による水系の分類 (ジオ環境; 図中の数値は水系番号)	14
2.5 主成分分析による水系の分類 (上図: ジオ環境, 下図: エコ環境; 図中の数値は水系番号)	15
2.6 主成分分析による水系の分類 (ソシオ環境; 図中の数値は水系番号)	16
2.7 主成分分析による水系の分類 (ソシオ環境; 図中の数値は水系番号)	17
2.8 吉野川流域の特徴	18
2.9 球磨川流域の特徴	19
2.10 木曽川流域の特徴	20
2.11 沙流川流域の特徴	21
2.12 代替案の評価と合意形成のフレームワーク	24
3.1 Nash 解の図解	32
3.2 Raiffa 解の図解	33
3.3 AHP による階層構造	36
3.4 AHP における目的と代替案の重み	36
3.5 SWT 法	38
4.1 無差別曲線群	50
4.2 序数的効用の順序保存的変換	50

4.3	基数的効用による代替案ごとの尺度	51
4.4	代替案集合と結果と確率の関係	51
4.5	価値関数の作り方	54
4.6	効用関数と価値関数における代替案の違い	55
4.7	満足関数構築手法の流れ	56
4.8	ステイクホルダーとグループの関係	57
4.9	欲求とそれを望む人の比率（必要グラフ）	57
4.10	グループ毎の必要グラフと必要度	58
4.11	満足関数と必要度の比	59
4.12	必要度と満足関数の関係	60
4.13	整合性の取れた最悪値の設定方法	61
4.14	整合性の取れた最悪値の設定方法	61
4.15	ステイクホルダーの考え・思いと合意形成	64
4.16	Alternative Matrix の例 (スタイニッツら, 1999)	66
4.17	Assisted Negotiation の進め方 (Susskind et al., 1989)	67
4.18	ISR の方法 (McCreary et al., 2001)	68
5.1	吉野川流域図 (国土交通省, 2005)	70
5.2	徳島県市町村図 (～2004.9.30)	74
5.3	徳島県市町村図 (2006.3.31～)	74
5.4	市民グループに対する調査結果	77
5.5	今昔の環境と環境の変化に対する意識	79
5.6	昔の利用場所プロット結果	81
5.7	今の利用場所プロット結果	81
6.1	基準地点岩津の主な洪水 (1961 年～2005 年) (国土交通省四国地方整備局, 2007)	88
6.2	2005 年台風 14 号における早明浦ダムの洪水調節 (四国水問題研究会, 2006)	89
6.3	早明浦ダムの流入放流状況 (流入量上位 10 洪水) (国土交通省四国地方整備局, 2007)	89
6.4	洪水流の伝播の時間経過 (左岸)	92
6.5	洪水流の伝播の時間経過 (右岸)	92
6.6	洪水による最大浸水深 (左岸)	93
6.7	洪水による最大浸水深 (右岸)	93
6.8	「治水レベル」の設定	94
6.9	治水に関するステイクホルダーの分布図	95

6.10 治水に関するステイクホルダーの必要グラフと必要度	96
6.11 治水に関するステイクホルダーの満足関数	97
6.12 魚類の必要グラフの作り方	101
6.13 生態系に関するステイクホルダーの必要グラフと必要度	102
6.14 生態系に関するステイクホルダーの満足関数	102
6.15 利用調査の対象範囲	103
6.16 主な行為ごとの利用者数	105
6.17 利用場所の分布（調査日別：上段左から7月28日，8月22日，下段左から11月 10日，11月11日．青色は調査日における越流範囲を示す.）	106
6.18 利用場所の分布（調査日別：上段左から2月16日，2月17日，下段左から5月12 日，5月17日．青色は調査日における越流範囲を示す.）	107
6.19 親水に関するステイクホルダーの必要度	110
6.20 親水に関するステイクホルダーの満足関数	110
6.21 代替案選択が各ステイクホルダーに及ぼす影響	114
6.22 代替案選択が各グループに及ぼす影響	115

付 録 A ダム・堰建設反対運動データ

ダム・堰建設反対運動が組織的に行われた主な事例を書籍やインターネットより収集し、整理したものを次ページより示す.

ダム・堰名	フリガナ	水系 (△:一級 でない)	反対運動 生起およ その年代	座標 北緯東経	諸元 堤高(m) 総貯水容量 (千m3)	建設目的 治水利水	事業者	事業費 (億円)	建設反対団体	建設反対理由	建設推進団体
安威川ダム	アイガワダム	淀川	2000	北緯34度 52分16秒東経135 度33分37	8322,900	F,NW	大阪府	1,370	安威川ダムはいりまへん府 民の会	1. 水道料金の値上げ 2. 貴重な自然環境の破壊(オオタカ、オオサンショウウ オ等希少動物) 3. 都市型水害防止にはダム建設ではなく総合治水 4. ダム建設地の活断層や地質への危機	大阪府建設事業評価委員 会
赤岩ダム	アカイワダム	鵜川	1950		103350,000	I,P	建設省		占冠村民	1. ダム建設による村の大部分の水没	
浅川ダム	アサカワダム	信濃川	2000		591,680	F,NW	長野県	400	浅川ダム建設に反対する市 民連絡会 浅川ダム計画に疑問をもつ 会	1. 地滑り密集地 2. 付け替え道路計画の先行 3. 断層の存在 4. 大洪水災害となる恐れ 5. 軟弱劣悪な地質条件	
足羽川ダム	アスワカワダム	九頭竜川	1980		9628,700	F,NW,I	近畿地方整備局		ダム水没地住民	1. ダム建設による水没	
家地川ダム(佐賀 取水堰)	イエジカワダム	四万十川	1990		<15880	P	四国電力		家地川ダムをなくする町民 会議 四万十川漁業組合連合会	1. 「鮎」や「あおさのり」等、川の生物資源への影響	
石木ダム	イシキダム	川棚川△	1980	北緯33度 05分06秒東経129 度53分11 秒	596,740	F,NW	長崎県	297	石木ダム建設絶対反対同盟	1. 水需要増が見込めない	
板取ダム	イタトリダム	木曽川	1970			F	W	水資源開発公団	板取村民	1. ダム建設による水没	
五木ダム	イツキダム	球磨川	1990	北緯32度 27分56秒東経130 度52分25 秒	613,500	F			熊本県 熊本ウォーターネットワーク	1. ダムサイトが広葉樹林帯(緑のダム) 2. 地盤が脆弱	
宇奈月ダム	ウナヅキダム	黒部川	2000	北緯36度 48分34秒東経137 度35分25 秒	9724,700	F	W,P	北陸地方整備局	1,740 黒部川排砂ダム被害支援 ネットワーク 一部漁業者	1. 排砂による漁業への被害	
浦山ダム	ウラヤマダム	関川△	1990				A		浦山ダム建設阻止同盟	1. 用水不要 2. 環境破壊	
永源寺第二ダム	エイゲンジダニダム	淀川	1990		9025,700	A	近畿農政局	476	もういらない永源寺第二ダ ム住民会議	1. 減反で水需要は増えず、水不足は起きていない 2. 自然破壊も深刻。環境アセスメントも行われず、地 元の同意がない	愛知川沿岸土地改良区
追原ダム	オイハラダム	小櫃川△	1990		466,220	F	W		千葉県 小櫃川源流域の自然を守り 育む連絡会	1. 水需要増が見込めない 2. 環境保全が不十分 3. 財政問題	
太田川ダム	オオタカワダム	太田川△		北緯34度 54分19秒東経137 度59分43 秒	7011,600	F,NW	W		静岡県 グループ太田川水未来 太田川ダム研究会 太田川ダムはいらない住民 協議会	1. 水需給からみて不要 2. 太田川ダムは治水対策として費用対効果が低い 3. 堆砂の進行により短期間で機能を失う	
大滝ダム	オオタキダム	紀の川	1960	北緯34度 21分12秒東経135 度56分06 秒	10084,000	F	W,I,P	近畿地方整備局	川上村民 吉野漁業協同組合 川上村漁業協同組合	1. ダムによる村の水没 2. 地滑りの危険性	
大仏ダム	オオボトケダム	信濃川	1970/199 0			F	W		長野県 大仏ダムの建設に反対する 市民の会 大仏ダム建設反対期成同 盟 長野県ダム問題連絡協議 会	1. ダムによる水没 2. 脱ダム	山辺地区開発促進協議会 大仏ダム特別対策委員会 薄川総合開発大仏ダム建 設促進協議会 薄川総合開発大仏ダム建 設対策委員会 大仏ダム建設対策委員会
緒川ダム	オカワダム	那珂川	1960							1. 住民の意思を無視した建設決定 2. 効果が望めない	
小川原湖河口堰	オカワラコカウセキ	高瀬川	1970				W,I, A	建設省		1. 開発地の土地が売れず、水需要が見込めない	
奥胎内ダム	オクタイナイダム	胎内川△		北緯37度 55分08秒東経139 度32分59 秒	8210,000	F,NW,P	新潟県	252	奥胎内ダムを考える会	1. 基本高水が過大 2. 河川改修を先に進めるべき	
奥三面ダム	オクミオモテダム	三面川△		北緯38度 15分46秒東経139 度42分14 秒	116125,500	F,NP	新潟県			1. ダムによる水没	
尾瀬原ダム	オセガハラダム	阿賀野川	1940		85330,000	W,P	関東水力電気株 式会社		尾瀬保存期成同盟	1. ダム建設による尾瀬ヶ原消滅という環境問題 2. 只見川の水利権問題	尾瀬水利対策期成同盟会
金居原下部ダム	カネイハラカブダム	淀川	1990		10818,600	P	関西電力		びわ湖自然環境ネットワ ーク	1. ダム周辺にイヌワシが生息 2. 電力需要が頭打ちとなった	
金居原上部ダム	カネイハラジョウブダム	木曽川	1990		14917,900	P	関西電力		びわ湖自然環境ネットワ ーク	1. ダム周辺にイヌワシが生息 2. 電力需要が頭打ちとなった	
鴨川ダム	カモガワダム	淀川	1980			F			京都府 鴨川ダム建設反対連絡会 京都水と緑を守る連絡会	1. 環境影響への懸念	
川上ダム	カワカミダム	淀川	1990	北緯34度 39分21秒東経136 度11分10 秒	9133,000	F,NW,I	水資源機構		伊賀の水と緑を考える会	1. 自然環境への影響 2. 地質や断層への不安 3. 洪水対策への疑問	川上ダム建設促進期成同 盟会
川辺川ダム	カワベガワダム	球磨川	1990	北緯32度 20分16秒東経130 度50分26 秒	108133,000	F,N	A,P	九州地方整備局	3,300 子守唄の里・五木を育む清 流川辺川を守る県民の会 清流球磨川・川辺川を未来 に手渡す流域都市民の会	1. 河川改修による洪水危険性減少、ダム洪水への危 惧 2. 農業用水不要、農家への負担金 3. 発電量の少なさ 4. 河川汚濁によるアユや球磨川下りへの影響 5. 過大な基本高水計算	活気ある人吉をつくる会 川辺川ダム建設促進協議 会 等
紀伊丹生川ダム	キニューカワダム	紀の川	1990		14560,400		近畿地方整備局	1,190～ 1,450	紀伊丹生川ダム建設を考え る会 玉川漁業協同組合	1. 自然環境への影響 2. 水需要の減少	
木曽中央下部ダム	キョチュウオウカブダム	木曽川	1990				P	中部電力株式会 社	4,270 揚水発電問題全国ネット ワーク 阿寺渓谷を愛する会 阿寺渓谷を愛する下流市 民の会	1. 森林・生態系の破壊	
木曽中央上部ダム	キョチュウオウジョウブダム	木曽川	1990				P	中部電力株式会 社	4,270 揚水発電問題全国ネット ワーク 阿寺渓谷を愛する会 阿寺渓谷を愛する下流市 民の会	1. 森林・生態系の破壊	
清津川ダム	キョツカワダム	信濃川	1970						清津川ダムを考える会 清津川ダム対策協議会	1. 治水計画の問題 2. 水需要量の減少 3. 環境への影響(名勝・天然記念物への被害、希少 動物への影響等) 4. ダムによる水没	
小歩危ダム	コホケダム	吉野川	1950				P	四国電力株式会 社	地元住民	1. 名勝の大歩危・小歩危を水没させる	
相模大堰	サガミオオセキ	相模川	1990	北緯35度 25分11秒東経139 度22分15 秒	3	W	神奈川県内広域 水道事業団	540	相模川キャンプリンシンボ ジウム	1. 水利権水量が低水水量を越える 2. 予定地は液状化の危険性 3. 破壊される生態系	

ダム・堰名	フリガナ	水系 (△:一級 生起およ でない)	反対運動 生起およ その年代	座標 北緯 東経	諸元 堤高(m) 総貯水容量 (千m3)	建設目的 治水 利水	事業者	事業費 (億円)	建設反対団体	建設反対理由	建設推進団体		
早明浦ダム	サメウラダム	吉野川	1960	北緯33度 45分24秒	東経133 度33分02 秒	106	316,000 F,N	A,W, I,P	四国地建→水公 団一工	331	大川村(水没地)	1. 水没による移転	
サンルダム	サンルダム	天塩川	2000	北緯44度 19分50秒	東経142 度38分15 秒	55	73,000 F,N	A,W	北海道開発局・ 建設部	530	サンル川を守る会 北るもい漁協	1. 洪水はダムでなくても防げる 2. 水道用水などが本当に必要か具体的説明がない 3. ダム建設は環境負荷が大きく、川の自然生態系が 破壊される 4. サクラマスなど漁業資源への悪影響	下川町をはじめ上中流域の 自治体
設楽ダム	シタラダム	豊川	1980			129	100,000 F,N	A,W	中部地方整備局	2,000	設楽ダムの見直しを求める 市民フォーラム 設楽ダムの建設中止を求め る会 設楽ダムを考える名古屋の 会	1. 洪水調節容量1900万m3は大きすぎる 2. 10年後も水余り見通しであり、新規利水開発は不 要である 3. 「流水の正常な機能維持」6000万m3に関する疑問 4. 環境への影響	豊川水系総合開発促進期 成同盟会
下釜ダム	シモウケダム	筑後川	1950	北緯33度 09分35秒	東経130 度59分02 秒	98	59,300 F,N	P	九州地方建設局		室原知幸氏ら小国町	1. 補償問題に関する説明不足 2. ダム建設を早期に進めるための土地収用法に基づ く立木伐採	
下諏訪ダム	シモスワダム	天竜川	1990			71	F,N	W	長野県	240	下諏訪ダム反対連絡協議 会	1. 計画基本高水が過大に算定されており計画は砂上 の楼閣 2. 岡谷市、下諏訪町にとって必要のない利水計画で ある 3. オオタカ営巣地など貴重な自然環境の破壊である	
城原川ダム	ジョウハルガワダム	筑後川		北緯33度 22分55秒	東経130 度19分18 秒	99	15,800 F,N	W,I	九州地方整備局		城原川を守る会	1. 洪水対策は不要 OR ダム以外の代替案で 2. 水需要増は見込めない 3. 自然環境破壊	
新内海ダム	シンウツミダム	小豆島△	2000				1,060 F			185		1. 昭和51年の台風で被害が大きかったのは西城川と いう別の川で、今回の建設では西城川の対策には何 にもならない 2. 基本高水計算の誤り	
関川ダム	セキカワダム	太田川	1980				F,N	W			関川ダム反対同盟会(関川 ダム対策同盟会)		
菌原ダム	ソノハラダム	利根川	1950	北緯36度 38分20秒	東経139 度10分31 秒	77	20,310 F,N	P	関東地方建設局		水没地住民	1. ダムによる水没	
滝沢ダム	タキサワダム	荒川	1970	北緯35度 57分21秒	東経138 度53分54 秒	140	63,000 F,N	W,P	関東地建→水資 機構ダム部		水没する住民団体 秩父漁業協同組合	1. ダムによる水没 2. 漁業への影響	
田子倉ダム	タコクラダム	阿賀野川	1950	北緯37度 18分38秒	東経139 度17分13 秒	145	494,000	P	電源開発		田子倉集落50戸290人の住 民	1. ダムによる水没	
辰巳ダム	タツミダム	犀川△				51	6,000 F		石川県	240	兼六園と辰巳用水を守り、ダ ム建設を阻止する会 辰巳ダムを止める土地共有 者の会	1. 貴重な文化遺産や自然環境を破壊するダム計画 2. 洪水計算に対する疑問	
蓼科ダム	タシナダム	天竜川	1990			46	3,150		長野県	280	蓼科ダムを考える会	1. 地質に問題があり危険 2. 水害防止の決め手にならない 3. 自然を破壊し諏訪湖汚染のもとになる 4. リゾート開発を促進する官業癒着	
千曲川上流ダム	チクマガワシヨウリュウダム	信濃川	1980						長野県		千曲川上流ダム建設反対 対策委員会 川上村ダム建設反対期成 同盟会		
津付ダム	ツツキダム	気仙川△	2000	北緯39度 09分03秒	東経141 度27分07 秒	49	5,600 F,N	A,W, P	岩手県		めぐみ豊かな気仙川と広田 湾を守る地域住民の会 広田湾の漁協	1. 気仙川・広田湾の環境に与える影響	
当別ダム	トウベツダム	石狩川	1980	北緯43度 19分24秒	東経141 度34分22 秒	53	78,400 F,N	W	北海道		当別ダム周辺の環境を考え る市民連絡会 北海道の森と川を語る会	1. 水需要予測が過大 2. 投資が効果に対して過大 3. 環境への影響	
徳山ダム	トクヤマダム	木曾川	1960/199 0	北緯35度 39分55秒	東経136 度34分08 秒	161	660,000 F,N	W,I,P	中部地建→水資 機構ダム部		徳山村 徳山ダム建設中止を求める 会	1. 水需要予測が過大 2. 環境への影響(ダム建設予定地にイヌワシやクマタ カ) 3. ダムによる村の水没	
苦田ダム	トマタダム	吉井川	1950	北緯35度 07分38秒	東経133 度53分40 秒	74	84,100 F,N	A,W, I,P	中国地方整備局	1,940	苦田ダム阻止期成同盟会 ストップ・ザ・苦田ダムの会	1. 利水計画が過大 2. 集水面積が小さく、治水上役に立たない、他流域の 方が問題 3. ダム計画地周辺の地質に問題がある 4. ダムによる負担増	
長島ダム	ナガシマダム	大井川	1970	北緯35度 09分58秒	東経138 度09分19 秒	109	78,000 F,N	A,W	中部地方整備局	1,670	本川根町住民	1. ダムによる水没	
長沼ダム	ナガヌマダム	北上川	1970	北緯38度 42分21秒	東経141 度09分09 秒	15	31,800 F,N	R	宮城県	800	水没住民	1. 建設に伴う140戸の水没 2. 自然湖をダム化する	
長良川河口堰	ナガラガワカウセキ	木曾川	1970/198 0	北緯35度 04分47秒	東経136 度41分49 秒		F	W,I	水資源開発公団 一工	1,500	岐阜・三重県流域漁協 長良川河口堰建設に反対 する会 長良川河口堰建設をやめ させる市民会議	1. 水需要予測が過大 2. 浚渫、塩害防止の必要性が明らかでない 3. 自然環境への影響 4. 防災上の問題(地震による堤防の崩壊と貯留水の 氾濫) 5. 漁業への影響	
成瀬ダム	ナルセダム	雄物川				114	78,700 F,N	A,P	秋田県→東北地 方整備局	1,530	成瀬の水とダムを考える会 なるせの清流とみどりを守る 会	1. 水需要が見込めない 2. 費用対効果に対する疑問 3. 自然環境への影響 4. 濁水問題	
南摩ダム	ナンマダム	利根川	1960/200 0	北緯36度 33分01秒	東経139 度40分10 秒	87	51,000 F,N	W,I	水資源機構ダム 事業部	1,850	水没住民 思川開発事業を考える流域 の会 ダム反対鹿沼市民協議会	1. わずか毎秒0.3トンしか流れない南摩川にダムを建 設する必然性が無い 2. 水余りで多くのダムが建設中止となり、南摩ダムも建 設の正当性が無い 3. 大谷川分水計画が中止となり南摩ダムの利水機能 が消滅した 4. 自然環境への影響 5. ダムによる水没	
新月ダム	ニイツキダム	大川△	1970/198 0			66	15,550				新月ダム建設反対期成同 盟 気仙沼市等の漁業関係者	1. 牡蠣養殖に重大な影響を及ぼす 2. ダムによる水没 3. 水質悪化 4. 過大な水需要量予測 5. 堆砂 6. 海岸浸食など湾内への影響 7. ダムサイトの岩盤	
二風谷ダム	ニフタニダム	沙流川	1970	北緯42度 37分43秒	東経142 度08分57 秒	32	27,100 F,N	W,I,P	北海道開発局・ 建設部		二風谷住民(アイヌ民族)	1. 二風谷はアイヌ民族の聖地	

ダム・堰名	フリガナ	水系 (△:一級 でない)	反対運動 生起およ その年代	座標 北緯 東経	諸元 堤高(m) 総貯水容量 (千m3)	建設目的 治水 利水	事業者	事業費 (億円)	建設反対団体	建設反対理由	建設推進団体		
温井ダム	ヌイダム	太田川	1960	北緯34度 38分02秒	東経132 度17分57 秒	156	82,000 F,N	W,P	中国地方整備局	1,400	温井地区住民(水没地)	1. ダムによる水没	
沼田ダム	ヌマタダム	利根川	1950	北緯36度 34分52秒	東経139 度02分58 秒	125	800,000 F	A,W, I,P	建設省関東地方 建設局		沼田ダム建設反対期成同 盟連合会	1. ダムによる水没	沼田ダム建設促進同盟会
灰塚ダム	ハイヅカダム	江の川	1960	北緯34度 46分51秒	東経132 度59分16 秒	50	52,100 F,N	W	中国地方整備局	1,800	灰塚ダム建設反対期成同 盟会	1. ダムによる水没	
東大芦川ダム	ヒガシオオアシガワダム	利根川	2000						水資源機構ダム 事業部		思川開発事業を考える流域 の会 ダム反対鹿沼市民協議会	(南摩ダムの補助多目的ダム)	
日向神ダム	ヒウカミダム	矢部川	1950	北緯33度 10分34秒	東経130 度46分49 秒	80	27,900 F,N	P	福岡県		黒木町及び矢部村水没住 民 矢部川漁業協同組合	1. ダムによる水没 2. 漁業への影響	
日吉ダム	ヒヨシダム	淀川	1960	北緯35度 08分51秒	東経135 度31分01 秒	67	66,000 F,N	W	水資源開発公団 一工	1,836	日吉ダム対策協議会天若 同盟	1. ダムによる水没	
平取ダム	ヒラトリダム	沙流川	1970	北緯42度 40分49秒	東経142 度23分10 秒	57	45,800 F,N	W,I,P	北海道開発局・ 建設部			1. アイヌ文化の破壊(二風谷ダムの上流)	
細川内ダム	ホソコウチダム	那賀川	1970						1,100	木頭村	1. 自然環境への影響 2. ダム必要論に根拠が乏しい 3. 過疎に拍車がかかり、生活基盤が破壊される		
横尾川ダム	マキオカワダム	大津川△	2000			43	1,400 F,N		大阪府		横尾川ダムの見直しを求め る連絡会	1. 自然環境への影響 2. 総合治水で対処すべき	
松倉ダム	マツクラダム	松倉川△	1990						北海道	310		1. 利水計画がずさん 2. ダム以外の治水計画も可能 3. 自然環境の破壊	
松原ダム	マツバラダム	筑後川	1950	北緯33度 11分39秒	東経130 度59分38 秒	83	54,600 F	P	九州地方建設局		室原知幸氏ら小国町	1. 補償問題に関する説明不足 2. ダム建設を早期に進めるための土地収用法に基づ く立木伐採	
真名子ダム	マナコダム	矢部川	1970						建設省		真名子ダム建設反対星野 村協議会(星野村)	1. 日向神ダム完成後矢部村の過疎が急激に進行した 2. ダムによる水没	
御母衣ダム	ミボロダム	庄川	1950	北緯36度 08分17秒	東経136 度54分38 秒	131	370,000	P	電源開発(株)	415	御母衣ダム絶対反対期成 同盟死守会	1. ダムによる水没	
宮ヶ瀬ダム	ミヤガセダム	相模川	1970	北緯35度 32分31秒	東経139 度14分55 秒	156	193,000 F,N	W,P	関東地方建設局	3,970	清川町と愛川町の水没住 民	1. ダムによる水没	
武庫川ダム	ムコガワダム	武庫川△	1990	北緯34度 49分40秒	東経135 度19分27 秒	73	9,500 F	R	兵庫県	300	武庫川を愛する会	1. ダムは川の自然を破壊する 2. ダムの必要性が疑問 3. 基本的な「流出解析」に疑問がある 4. 中小の浸水被害防止には役に立たない 5. ダムは後世に負担を押し付ける(総合治水による対 応)	
最上小国川ダム	モガミオグニガワダム	最上川	1990			46	6,300 F,N		山形県		最上小国川漁業協同組合	1. 計画高水(洪水)流量が過大 2. ゲートなしダムでは洪水調節が不可能 3. 貯水池内の森林伐採による地すべりの誘発 4. 環境(アユなど)への影響	
矢田ダム	ヤタダム	大野川	1960			56			九州地方整備局		矢田ダム反対協議会	1. ダムによる水没	
築川ダム	ヤナガワダム	北上川	1990	北緯39度 40分22秒	東経141 度15分46 秒	81	17,400 F,N	W	岩手県	530	築川ダムに反対する市民の 会 築川のダムと自然を考える 市民ネットワーク	1. 環境への影響 2. 治水計画への疑問 3. 利水計画への疑問	
矢作川河口堰	ヤハキガワカウゼキ	矢作川	1990							900	矢作川漁協	1. 天然鮎を取り戻す	
山島坂ダム	ヤマトサカダム	肱川	1990	北緯33度 27分25秒	東経132 度42分02 秒	103	24,900 F,N		四国地方整備局		山島坂ダム建設に反対する 土地トラストの会 大洲市の住民投票を実現 する会 肱川の清流と自然を守る大 洲の会 肱川・水と緑の会	1. 治水計画に対する疑問 2. 利水計画に対する疑問 3. 推進派で固めた流域委員会	
ハッ場ダム	ヤンバダム	利根川	1960/200 0	北緯36度 33分25秒	東経138 度42分51 秒	131	107,500 F,N	W,I	関東地方整備局	4,600	ハッ場あしたの会	1. 過大な財政負担 2. 首都圏の水余り 3. 地質のもろさ 4. 期待できない治水効果 5. 自然環境の破壊 6. 水質への影響 7. ダムによる水没	
吉野川可動堰	ヨシノガワカトウゼキ	吉野川	1990			6			四国地方整備局	1,000	吉野川シンポジウム実行委 員会 吉野川みんなの会	1. 水の滞留による水質・生態系への影響 2. 治水上の問題 3. 必要性が乏しい(治水・利水面) 4. 堤防強化による対応 5. 計画の進め方に対する反感	吉野川三十万人の会
竜門ダム	リュウモンダム	菊池川	1970	北緯33度 02分10秒	東経130 度50分58 秒	100	42,500 F,N	A,I	九州地方整備局	20	水没地住民	1. ダムによる水没	

付 録 B 一級水系データ

ジオ・エコ・ソシオに関する一級水系データとその作成方法を整理したものを次ページより示す.

水系番号	水系名	ヨミガナ	シオ（物理的環境）											エコ（生態学的環境）					
			降水			地形			流量					生物			水質		
			年平均降水量	100mm/日の豪雨発生回数	50mm/時の豪雨発生回数	河川密度	流域面積	河川延長	基本高水流量	流域内代表観測所における最大流量	流域内代表観測所における渇き流量	流域内代表観測所における最小流量	流域内代表観測所における年平均流量	出現種数（魚類）	出現種数（植物）	出現種数（鳥類）	流域内代表観測所におけるBOD75%	流域内代表観測所におけるDO75%	
			河川便覧	アメダス	アメダス	河川便覧	日本河川図	日本河川図	蔵治先生HP	日本河川図	日本河川図	国交省HP	日本河川図	水辺の国勢調査	水辺の国勢調査	水辺の国勢調査	日本河川図	日本河川図	
			観測開始～2000年	'78-’99	'78-’99	2002	2004	2004	2006	2004	2004	2000	2004	'98-’00	'98-’00	'98-’00	2000	2000	
mm	回	回	1/km	km2	km	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	出現種数/千km2	出現種数/千km2	出現種数/千km2	mg/L	mg/L				
1	天塩川	テンシカワ	1127.3	1.9046	0.0806	0.24	5590	1359.3	6400	2718.5	30.26	23.4	134.52	40	488	137	0.7	11.2	
2	渚滑川	ショツツカワ	926.8	2	0	0.15	1240	189.3	1300	1501.0	5.41	3.4	29.33	0	831	94	1	12.2	
3	湧別川	ユウベツカワ	855.7	2	0	0.15	1480	221.2	1800	1291.4	9.76	7	32.45	33	493	94	1.7	12.8	
4	常呂川	トコロカワ	765.2	1.0626	1	0.22	1930	420.8	1900	932.0	6.79	4.1	22.64	29	522	113	2.6	11.2	
5	網走川	アバシカワ	821.6	1	0	0.19	1380	265.5	1200	872.2	3.81	2.9	14.02	36	453	122	2.5	11.3	
6	留萌川	ルモイカワ	1463.4	3	2	0.27	270	71.7	1300	700.0	0.93	0.6	11.84	26	309	95	1.5	11.1	
7	石狩川	イシカワ	1264.1	4.9497	0.4523	0.26	14330	3687.6	18000	4025.3	43.57	38.7	133.18	51	1297	140	1.1	11.3	
8	尻別川	シリベツカワ	1494.7	3	0	0.21	1640	345.9	3300	1493.3	25.35	28	68.41	28	725	105	0.4	12.4	
9	後志利別川	シバントリベツカワ	1231.1	5	0	0.29	720	208	1600	1100.8	6.28	4.9	23.69	26	541	101	0.5	12.4	
10	鶴川	ムカワ	1326	5.5822	0	0.20	1270	248	3600	2991.0	5.58	5.1	38.54	21	417	111	0.6	11.8	
11	沙流川	サルカワ	1118	9.0742	0.1543	0.19	1350	261.6	5400	3308.3	9.57	10	48.24	31	365	115	0.6	12.4	
12	釧路川	クシロカワ	1111	5.4706	0.3647	0.22	2510	531.5	1200	778.0	17.42	16.3	26.32	33	488	84	1.7	12	
13	十勝川	トチカワ	921.6	6.4941	0	0.26	9010	2371.4	15200	4750.0	29.11	21	85.36	31	666	95	1.7	11.8	
14	岩木川	イワキカワ	1433.6	2.1857	0	0.28	2540	703.8	5500	1692.4	13.1	11.7	76.07	68	499	98	1.6	10.1	
15	高瀬川	カセカワ	1227			0.22	867	192.4	1400	467.2	5.28	3.1	50.1	55	721	93	0.9	10	
16	馬瀬川	マヘチカワ	1166.5	3.7248	0	0.24	2050	486.1	3500	1736.7	17.94	20.3	47.62	38	438	97	1.1	10.8	
17	北上川	キタミカワ	1620	7.3223	0.3872	0.27	10150	2722.1	13000	5455.3	113.69		318.42	85	2058	0	1.1	10.7	
18	鳴瀬川	ナルセカワ	1418	13.1924	0.4038	0.43	1130	487.6	4100	1637.4	4.59	2.6	26.49	54	546	89	1.3	10.3	
19	名取川	ナリカワ	1478.3	18	1	0.31	939	293.6	4700	1841.5	4.05	0	17.32	78	626	107	1.1	11.7	
20	阿武隈川	アブクマカワ	1437.8	8.4924	1.113	0.36	5400	1947.8	10700	2761.2	16.17	15.3	52.22	76	836	249	1.9	10.6	
21	米代川	ヨネシロカワ	1839.7	7.2178	0.9908	0.24	4100	966.4	9200	2978.6	27.9	22.5	100.91	63	606	163	1.3	11	
22	雄物川	オモカワ	2200.5	7.0156	2.2126	0.30	4710	1409	9800	3519.4	81.54	78.9	259.02	65	857	140	1.4	10.6	
23	子吉川	コシカワ	1794	5.977	2.4982	0.34	1190	406.9	3100	1939.4	19.9	13.1	60.6	59	488	78	1.1	10.3	
24	最上川	モトミカワ	2191.1	7.6925	1.1468	0.35	7040	2477.2	9000	6060.8	87.61	79.6	369.26	114	989	75	1	10.3	
25	赤川	アカカワ	3461	6	1	0.32	857	277.3	5300	2067.8	3.11	0.5	65.68	100	491	101	1	11	
26	久慈川	クシカワ	1328	14.4588	1.7738	0.35	1490	526.6	4000	3358.9	6.13	4.5	23.58	72	444	89	0.8	10.5	
27	那珂川	ナカカワ	1521.2	14.8605	4.1914	0.46	3270	1516.5	8500	5367.6	22.78	22.3	74.43	71	1225	0	0.9	10.4	
28	利根川	トネカワ	1373.7	13.6344	2.66	0.40	16840	6838.3	22000	10577.2	70.96	61.9	237.1	293	5447	563	2.5	9.5	
29	荒川	アラカワ	1422.8	20.9212	3.556	0.42	2940	1225.4	14800	5512.0	4.86	0.6	27.77	73	1259	226	4.4	8.3	
30	多摩川	タマカワ	1510	28.0362	3.6184	0.39	1240	481.2	8700	4111.7	7.03	4.9	40.28	73	0	119	1.7	9.8	
31	鶴見川	ツルミカワ	1434.1	23	3	0.41	235	95.2	2600	611.3	3.14	1.2	7.83	71	543	69	8	7.2	
32	相模川	サガミカワ	1467.8	37.624	4.189	0.35	1680	592.7	10100					65	482	0	2	8.3	
33	荒川	アラカワ	2209.3	13.6857	1.6286	0.31	1150	351.8	8000	4074.0	17.13		115	47	695	98	6	11.8	
34	阿賀野川	アガノカワ	1594.4	7.2241	0.1653	0.29	7710	2199.4	15500	8927.8	127.42	79.5	401.55	70	1629	0	0.6	10.9	
35	信濃川	シナノカワ	1823.8	5.8662	0.8627	0.42	11900	5014	13500	9638.3	205.37	61.5	503.15	69	1082	145	1	10.2	
36	関川	セキカワ	1697.9	14	1	0.45	1140	509.7	3700	2504.5	10.53	9	50.32	53	474	68	1.5	10.4	
37	姫川	ヒメカワ	1684.5			0.31	722	223.9	5000	2355.1	1.77	0.2	44.07	28	447	52	0.5	11.2	
38	黒部川	クロベカワ	3997.9			0.21	682	141.8	7200	2158.3	2.84		37	27	401	80	0.8	11.7	
39	常願寺川	ジョウガンジカワ	2833.6			0.39	368	145.2	4600	2764.0	1.88	1.5	16.23	46	400	84	0.6	11.1	
40	神通川	ジンツウカワ	1853.1	10.7138	1.7845	0.30	2720	825.3	9700	5643.4	67.33	52.3	183.65	66	475	103	1.4	11.2	
41	庄川	ショウカワ	2572.2			0.30	1180	357.6	6500	2645.8	7.23		47.72	65	372	99	1	11.3	
42	小矢部川	オヤベカワ	3247.5	11	4	0.55	667	364.5	1300	1187.5	7	4.9	27.99	46	360	84	1.5	9.1	
43	手取川	テトリカワ	2917			0.27	809	215.5	6000	2878.3	18.71	17.6	77.21	44	464	97	0.5	11.4	
44	梯川	カケハシカワ	2673.8			0.37	271	101.2	1700	674.2	1.87	1.1	18.02	48	981	77	1	10	
45	狩野川	カノカワ	2558.6	51.4216	5.7144	0.43	852	370.1	4000	4069.2	7.8	6.2	21.4	81	564	181	1.5	9.2	
46	富士川	フジカワ	1612	30.3777	4.3932	0.48	3990	1905.5	16660										

水系番号	水系名	ヨミガナ	ソシオ	(社会学的環境)																					
			人口	利水								親水				土地利用			資産				対策		ダム総貯水 容量(建設 中含む)
				人口	氾濫区域内 人口		上水道取水 量	鉱工業用水 取水量	灌漑用水取 水量	発電使用水 量(常時)	河川年間利 用者数	調査対象河 川区域面積	森林面積率	市街地面積 率	水面面積率	想定氾濫区 域面積	流域内一般 資産額	氾濫区内一 般資産額	洪水被害額	堤防整備率 (完成)					
					河川現況調査	河川現況調査	日本河川図	日本河川図	日本河川図	日本河川図	水辺の国勢調査	水辺の国勢調査	河川現況調査	河川現況調査	河川現況調査	河川現況調査	河川現況調査	河川現況調査	河川現況調査	河川現況調査	河川現況調査				
					1995	1995	2000	2000	2000	2000	'91-03	2003	1995	1995	1995	1995	1995	1995	1995	'73-01	2002				
					人	人	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	人	ha	%	%	%	km2	百万円	百万円	百万円	%	千m3				
1	天塩川	テオカワ	99090	46806	0.274	1.083	27.59	7.3	346813	9120	67.9	0.0	3.9	458.6	1488048	655437	2054.9	40.81	162300						
2	清瀬川	ジョツカワ	12644	2768	0.247	0.002	0.883	4.39	4717	800	86.7	0.0	0.0	27.3	176661	40109	396.2	99.58	0						
3	湧別川	ユウベツカワ	35332	21360	0.182		0.708	14.56	152996	1290	69.9	0.0	0.0	57	500292	297006	504.8	81.03	0						
4	常呂川	トロクワ	140220	59442	0.875	0.385	15.702	470666	2850	65.5	0.0	1.4	135.1	1860290	771633	1023.8	85.65	35800							
5	網走川	アバシカワ	53463	11535		0.154	5.778	3.6	738402	4360	68.3	0.0	0.8	51.8	790399	149393	724.1	71.32	0						
6	留萌川	ルモイカワ	18762	11995			0.058		24755	330	81.9	0.0	3.3	19.5	247260	170485	741.3	49.8	21800						
7	石狩川	イシカワ	2497528	802034	16.957	28.393	408.679	241.217	4157750	27123	54.4	2.5	11.0	1495.2	31324092	10155274	10188.2	6.33	266881.926						
8	虎別川	シロベツカワ	38541	6369	0.087	0.153	8.88	99.11	51953	578	72.2	0.0	2.9	56.2	596474	94670	718.1	87.77	0						
9	後志利別川	シロベツシロベツカワ	12514	6356	0.089	0.153	10.92	102.4	111831	830	67.0	0.0	6.4	41.5	189334	94083	371.2	94.05	14500						
10	鶴川	ムカワ	13314	4624	12.997	1.578	145.953	1.12	50851	1280	82.8	0.4	2.7	56.5	212321	70556	494.0	77.75	0						
11	沙流川	サルカワ	15365	7322	0.062	0.246	6.124	17.45	47681	1050	63.3	0.0	1.7	61.5	235834	103793	432.7	60.83	59900						
12	釧路川	クルロカワ	177195	74943	1.356	2.5		319152	8570	60.6	1.5	0.0	160.1	2405220	940923	1103.7	46.34	0							
13	十勝川	トカチカワ	337825	161418	1.444	2.049	31.092	154.99	990247	140	51.4	0.7	0.2	587.2	4738526	2266782	4497.5	51.49	130000						
14	岩木川	イワキカワ	482421	111903	1.968		83.848	20.967	538768	4732	54.5	1.8	17.1	242.9	6237430	1528196	5734.1	50.63	204700						
15	高瀬川	カセカワ	80372	7404	0.053		26.967		52323	6441	50.1	2.1	15.3	60.6	1092329	111742	871.2	7.69	153800						
16	馬淵川	マヘチカワ	188186	59375	1.121	4.352	11.11	26.327	216017	196	74.1	0.9	4.0	57.7	2542622	908410	1430.4	56.25	0						
17	北上川	キタカミカワ	1383088	553015	7.695	8.084	355.553	143.717	3053194	10179	65.0	0.7	14.0	1234.7	18831144	9360524	8702.8	39.84	452970						
18	鳴瀬川	ナルセカワ	161520	24675	1.44	0.433	22.598	2.454	160660	2000	53.4	1.9	18.6	265.4	2091949	1758821	2166.6	45.29	0						
19	名取川	ナドカワ	454483	139920	4.818	1.913	18.275	14.49	593757	820	67.7	9.3	7.4	114.8	6175533	2486726	1163.8	82.81	64300						
20	阿武隈川	アブクマカワ	1378852	372959	9.638	5.666	156.242	80.32	2296474	4959	60.5	3.1	11.7	510.5	18488913	5791825	10142.5	52.43	283500						
21	米代川	ヨネシロカワ	256139	107631	0.989	0.2	56.898	60.869	377725	4883	79.8	0.0	5.8	269.3	3463026	1406456	3281.8	59.68	68100						
22	雄物川	オモロカワ	674423	292855	2.88	67.254	156.098	111.649	890434	6142	66.4	1.4	13.3	463.1	8568277	3679491	4905.3	53.63	373500						
23	吉川	ヨシカワ	78630	15938	0.108		13.503	6.379	97733	341	74.0	0.0	9.3	41.3	1036943	255900	2227.4	62.56	0						
24	最上川	モガミカワ	999332	220438	4.89	1.353	200.924	89.293	1103529	7484	65.3	0.8	11.8	481.2	13294847	3089882	8534.9	76.9	190000						
25	赤川	アカカワ	109294	104416	1.143	0.006	55.079	38.45	248611	1133	74.4	0.0	11.7	239.1	1534453	1729140	668.0	90.55	58000						
26	久慈川	クシカワ	201981	43200	1.727	1.114	14.191	8.495	358489	1401	58.2	1.0	7.1	101.1	2599627	553805	1499.6	77.56	0						
27	那珂川	ナカカワ	912217	79664	4.252	2.204	61.057	11.865	1674208	2849	20.1	1.6	15.1	142.4	12568820	1173474	6681.5	40.91	0						
28	利根川	トネカワ	12141505	2635738	85.255	64.879	4641.04	569.225	27961384	57459	32.7	10.1	14.7	2525.5	158258764	63175510	27638.6	4.6	1667830						
29	荒川	アラカワ	9301600	2979401	43.262	3.987	5774.96	17.255	32472784	10036	40.9	21.8	4.9	859.6	149576825	77800900	16306.0	48.48	146400						
30	多摩川	タマカワ	3570529	1081504	27.538	4.254	5.825	19.87	15984899	2960	55.9	32.1	0.3	100.7	50100689	18232379	1540.0	70.73	0						
31	鶴見川	ツルミカワ	1752637	301289		0.555	0.26		1924431	300	5.5	70.8	1.0	33.9	21328581	4446865	927.1	58.92	0						
32	相模川	サガミカワ	1283971	301912	41.748	6.696	6.161	153.27	907463	370	68.2	8.1	1.8	74.7	18097615	4743474	1811.9	38.17	183000						
33	荒川	アラカワ	41710	21657	0.408	0.202	24.779	56.85	183331	855	83.9	0.0	4.7	62.6	624768	409804	286.4	98.78	36900						
34	阿賀野川	アガノカワ	589685	255160	8.718	4.542	260.67	1745.6	1277503	3267	79.6	0.8	6.8	679.8	8285622	9214008	5922.9	68.21	44500						
35	信濃川	シナノカワ	2947423	989138	15.429	18.312	56.6895	889.44	3492781	11141	70.0	3.6	9.1	1306.2	44558868	20751992	17582.6	46.63	48700						
36	関川	カンカワ	211351	100772	0.596	3.464	30.881	50.162	116703	210	61.8	3.3	14.3	97.8	3300027	1646504	2802.2	99.62	0						
37	姫川	ヒメカワ	17675	5784	0.201	0.957	12.216	71.923	65572	410	89.7	0.0	2.3	9.1	463914	129291	1721.8	58.14	0						
38	黒部川	クロヘカワ	2703	42632	0.043		78.31	181.36	126178	1081	98.0	0.0	0.2	84.6	77785	1086243	1678.9	74.47	12700						
39	常願寺川	ジョウガンジカワ	28314	104133	1.916	1.403	61.509	107.84	630068	1100	88.5	1.6	2.0	145.1	412940	4540724	693.9	93.48	0						
40	神通川	シンツウカワ	377103	65787	1.853	22.444	39.157	426.192	535953	1520	64.6	2.0	5.1	115.9	6300468	3901375	2251.1	17.79	0						
41	庄川	ショウカワ	28032	152136	1.68	4.343	83.99	481.548	549035	1290	57.5	0.2	2.3	241.6	499287	4371135	504.9	63.09	26400						
42	小矢部川	オヤヘカワ	300044	54667	0.773	1.642	37.677	3.54	146418	730	44.9	0.8	28.8	140	5182600	2687072	1345.2	70.42	0						
43	手取川	テトリカワ	37930	138763	4.845		68.834	181.602	185228	793	90.0	0.4	3.9	174.6	658534	3668292	474.6	79.48	190000						
44	梯川	カバハンカワ	112233	38461		3.243			109522	137	67.7	7.3	12.7	39.3	1934774	963559	382.2	17.18	0						
45	狩野川	カノカワ	463796	82762	2.338	1.25	6.187	8.026	1049098	660	53.0	7.8	4.2	26.1	6815402	1181013	1473.7	69.14	0						
46	富士川	フジカワ	1135206	459182	5.32	11.675	57.894	246.858	2826421	5096	68.4	3.8	2.9	236.5	16482470	6986164	6398.8	40.94	0						
47	安倍川	アベカワ	174421	309402	0.646	1.11	0.49	1.696	1753997	1602	78.8	2.8	0.6	67	2174993	5540538	1647.4	69.63	0						
48	大井川	オオイカワ	88083	32729	4.495	2	41.6	208.998	1106401	2161	60.3	0.0	0.4	128	1305855	4365275	1106.5	91.73	68000						
49	菊川	キクカワ	70036	33609		0.182	0.182		182627	326	34.7	0.0	14.2	39.1	1127443	543102	507.5	77.3	0						
50	天竜川	テンリュウカワ	722153	400153	5.731	4.301	125.239	594.494	2504391	5697	77.6	2.2	3.5	203.9	11366097	6682799	7040.7	65.4	119590						
51	豊川	トヨカワ	211936	57484	4.683	3.381	22.994	10.569	840616	917	75.8	4.1	4.6	55.7	3477574	1025402	749.0	85.21	100						
52	矢作川	ヤハキカワ	693228	360867	5.956	8.578	80.36	78.048	2078105	1502	69.8	5.1	5.6	209.2	10771826	5674904	3330.5	30.56	65000						
53	庄内川	ショウナイカワ	2460829	836360	0.027	4.313	20.791	4.78	2697891	1662	35.6	37.9	6.4	277.2	38843712	23877770	16769.2	28.09	12900						
54	木曽川	キソカワ	1925339	1627526	44.211	25.792	193.725	872.351	6875067	12140	69.2	3.5	5.1	1206.1	27815019	37577436	12119.4	61.02	710180						
55	鈴鹿川	スズカワ	114121	65847	0.003	0.435	18.526	408277	973	47.8	3.6	11.0	69	1761739	1298783	1411.5	53.93	0							
56	雲出川	クモズカワ	86744	40286	1.132	0.669	16.455	0.5	195867	766	72.7	1.4	7.2	60.2	1150790	618937	1901.7	59.18	0						
57	櫛田川	クシダカワ	40489	30912	1.848	0.353	12.178	5.27	185523	639	77.5	0.3	6.3	99.4	577765	981791	849.7	38.79	29400						
58	宮川	ミヤカワ	144379	94752	0.127	0.049	9.555	16.99	488961	914	84.9	0.0	3.4	69.5	1991215	1594758	976.1	37.86	0						
59	由良川	ユラカワ	175889	43130	1.316	0.544	5.984	12.587	423198	1050	75.9	1.4	5.7	61.1	3146011	829850	2215.8	22.08	21320						
60	淀川	ヨドカワ	10852899	1906425																					

大項目	中項目	項目名	単位 データ作成方法	年	出典
ジオ (物理的環境)	降水	年平均降水量	mm	観測開始～2000	河川便覧
			河川便覧に掲載されている水系別の流域内年平均降水量(観測開始時からの値)を用いる。		
		100mm/日の豪雨発生回数	回	1978-1999	アメダスデータ
	50mm/時の豪雨発生回数		流域内の雨量観測所で観測した降雨量のうち、100mm/日以上雨が降った日数を、1978～1999年のアメダスデータからカウントする。流域内に複数の観測所のある場合は、ティーセン分割により各観測所の面積比率を算出し、重み付き平均により求める。		
			回	1978-1999	アメダスデータ
			流域内の雨量観測所で観測した降雨量のうち、50mm/時以上雨が降った日数を、1978～1999年のアメダスデータからカウントする。流域内に複数の観測所のある場合は、ティーセン分割により各観測所の面積比率を算出し、重み付き平均により求める。		
	地形	河川密度	1/km	2002	河川便覧
			河川便覧に掲載されている本支流の長さの総計を流域面積で割った値を用いる。		
		流域面積	km2	2004	日本河川図
			日本河川図に掲載されている流域面積の値を用いる。		
	河川延長		km	2004	日本河川図
			日本河川図に掲載されている河川延長の値を用いる。		
	流量	基本高水流量	m3/s	2006	青の革命と水のカバナンス
			「一級河川の基礎情報データベース」(http://forester.uf.a.u-tokyo.ac.jp/~kuraji/BR/database/kasenzu/index.html)に掲載されている基本高水流量の値を用いる。		
		流域内代表観測所における最大流量	m3/s	2004	日本河川図
			日本河川図に掲載されている最大流量(流域内代表観測所)の値を用いる。		
		流域内代表観測所における湧水流量	m3/s	2004	日本河川図
			日本河川図に掲載されている湧水流量(流域内代表観測所)の値を用いる。		
		流域内代表観測所における最小流量	m3/s	2000	国土交通省河川局
			国土交通省河川局の統計データに掲載されている最小流量(流域内代表観測所)の値を用いる。		
	流域内代表観測所における年平均流量		m3/s	2004	日本河川図
			日本河川図に掲載されている平均流量(流域内代表観測所)の値を用いる。		
エコ (生態学的環境)	生物	出現種数(魚類)	出現種数/千km2	1998-2000	水辺の国勢調査
			1998～2000年の河川水辺の国勢調査に記載されている流域内の魚類の年間平均出現種数の値を用いる。		
		出現種数(植物)	出現種数/千km2	1998-2000	水辺の国勢調査
			1998～2000年の河川水辺の国勢調査に記載されている流域内の植物の年間平均出現種数の値を用いる。		
	水質	出現種数(鳥類)	出現種数/千km2	1998-2000	水辺の国勢調査
			1998～2000年の河川水辺の国勢調査に記載されている流域内の鳥類の年間平均出現種数の値を用いる。		
		流域内代表観測所におけるBOD75%	mg/L	2000	日本河川図
ソシオ (社会的環境)	人口		日本河川図に掲載されているBOD75%(流域内代表観測所)の値を用いる。		
		流域内代表観測所におけるDO75%	mg/L	2000	日本河川図
			日本河川図に掲載されているDO75%(流域内代表観測所)の値を用いる。		
	人口	人口	人	1995	河川現況調査
			第7回河川現況調査に記載されている流域内人口の値を用いる。		
		氾濫区域内人口	人	1995	河川現況調査
	水利		第7回河川現況調査に記載されている氾濫区域内人口の値を用いる。		
		上水道取水量	m3/s	2000	日本河川図
			日本河川図に掲載されている上水道取水量の値を用いる。		
		鉱工業用水取水量	m3/s	2000	日本河川図
			日本河川図に掲載されている鉱工業用水取水量の値を用いる。		
		灌漑用水取水量	m3/s	2000	日本河川図
	親水		日本河川図に掲載されている灌漑用水取水量の値を用いる。		
		発電使用水量(常時)	m3/s	2000	日本河川図
			日本河川図に掲載されている発電使用水量(常時)の値を用いる。		
		河川年間利用者数	人	1991-2003	水辺の国勢調査
			河川水辺の国勢調査で、1991～2003年に合計6回実施された河川利用者数の年間平均値の値を用いる。		
		調査対象河川区域面積	ha	2003	水辺の国勢調査
	土地利用		河川水辺の国勢調査で、1991～2003年に合計6回実施された河川利用調査の調査対象河川区域面積の値を用いる。		
		森林面積率	%	1995	河川現況調査
			第7回河川現況調査に掲載されている森林率(%)の値を用いる。		
		市街地面積率	%	1995	河川現況調査
			第7回河川現況調査に掲載されている市街化地域・用途地域面積を流域面積で除した値を用いる。		
		水田面積率	%	1995	河川現況調査
	資産		第7回河川現況調査に掲載されている耕地面積を流域面積で除した値を用いる。		
		想定氾濫区域面積	km2	1995	河川現況調査
			第7回河川現況調査に掲載されている想定氾濫区域あるいは平地面積を流域面積で除した値を用いる。		
		流域内一般資産額	百万円	1995	河川現況調査
			第7回河川現況調査に掲載されている流域内の資産の値を用いる。		
		氾濫区域内一般資産額	百万円	1995	河川現況調査
対策	洪水被害額		第7回河川現況調査の低平地(流域内)の資産の値を用いる。		
			百万円	1973-2001	河川便覧
			河川便覧に掲載されている1973～2001年の洪水被害額の合計値を用いる。		
	堤防整備率(完成)		%	2002	河川便覧
			河川便覧に掲載されている堤防整備率の値を用いる。		
	ダム総貯水容量(建設中含む)		千m3	2000	日本河川図
			日本河川図に掲載されている水資源開発施設の現況から、建設中を含むダム総貯水容量の値を用いる。		

付 録 C 主成分分析の概要

C.1 主成分分析とは

主成分分析とは， p 個の特性値をもつ情報を，少数の m 個の総合特性値（主成分）に要約する手法である．この総合特性値は，次式のように，もとの p 個の変数の 1 次式

$$z = lx \quad (\text{C.1})$$

で表される．ここに，

$$z = (z_1, \dots, z_m)^t, \quad x = (x_1, \dots, x_p)^t,$$

$$l = (l_1, \dots, l_k, \dots, l_m)^t = \begin{bmatrix} l_{11} & \cdot & \cdot & l_{1p} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & \cdot \\ l_{m1} & \cdot & \cdot & l_{mp} \end{bmatrix}$$

で，ただし，

$$l_k^t l_k = 1 \quad (k = 1, \dots, m) \quad (\text{C.2})$$

である．これらの主成分の係数 $\{l_{ki}\}$ は， m 個の主成分が互いに無相関で，かつ，もとの p 個の変数の持つ情報をできるだけ多く集めるように定められる．各主成分への各変数の寄与の仕方を後述の因子負荷量によって吟味することにより， p 個の変数の分類が，また n 個の対象（標本）のとり主成分の値を吟味することにより，集団の異質性の検出や，対象のセグメンテーションを行うことができる．

C.2 主成分の導出

式 (C.1) の中で，まず z_1 の係数 $\{l_{1i}\}$ は， x 空間における変動の情報のできるだけ多くの部分を z_1 に集中するように求める．このためには， z_1 の分散

$$V[z_1] = \sum_{\alpha=1}^n (z_{\alpha 1} - \bar{z})^2 / (n-1) = \sum_{\alpha=1}^n \left\{ \sum_{i=1}^p l_{1i} (x_{\alpha i} - \bar{x}_i) \right\}^2 / (n-1)$$

(ここに V_{ij} は x_i と x_j との共分散)

$$Q = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p l_{1i} l_{1j} V_{ij} - \lambda \left(\sum_{i=1}^p l_{1i}^2 - 1 \right) \Rightarrow \max. \quad (\text{C.4})$$
$$\frac{\partial \mathcal{Q}}{\partial l_{1i}} = 0 \rightarrow \sum_{j=1}^p l_{1j} V_{ij} - \lambda_{1i} = 0 \quad (i=1, \dots, p) \quad (\text{C.5})$$
[illegible]

$$|V - \lambda I| = \begin{vmatrix} V_{11} - \lambda & V_{12} & \cdot & \cdot & V_{1p} \\ V_{12} & V_{22} - \lambda & \cdot & \cdot & V_{2p} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ V_{1p} & V_{2p} & \cdot & \cdot & V_{pp} - \lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (\text{C.7})$$

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0 \quad (\text{C.8})$$

-141-

くなるので、その残りの $(p-1)$ 個の式を、式 (C.2) とともに解いて係数 $\{l_{ki}\}$ ($k=1, \dots, p$) を求める。これは行列 V の固有値 λ_k に関する固有ベクトルと呼ばれる。

このようにして式 (C.4) を満足する p 個の解が得られるが、ここで求めたいのは式 (C.4) を最大にするものである。このために、 p 個の解を式 (C.3) に代入すると、これらの解がいずれも式 (C.5) を満足することから

$$V[z_k] = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p l_{ki} l_{kj} V_{ij} = \sum_i l_{ki} (\lambda_k l_{ki}) = \lambda_k \sum_i l_{ki}^2 = \lambda_k \quad (C.9)$$

を得る。こうして、この分散を最大にするものは、最大固有値 λ_1 に対応する固有ベクトル

$\{l_{1i}\}$ を係数とするものである。こうして第 1 主成分 z_1 の係数が求められた。

次に、第 2 主成分 z_2 の係数 $\{l_{2i}\}$ を求める。このとき、 z_1 と z_2 の共分散は 0 でなければならないから、

$$\text{Cov}[z_1, z_2] = \sum_i \sum_j l_{1i} l_{2j} V_{ij} = \sum_j l_{2j} (\lambda_1 l_{1j}) = 0 \quad \sum_i l_{1i} l_{2i} = 0 \quad (C.10)$$

を得る。この条件の下で、式 (C.4) に相当する式 (制約条件が 2 つになっていることに注意) を改めて書くと

$$Q = \sum_i \sum_j l_{2i} l_{2j} V_{ij} - \lambda \left(\sum_i l_{2i}^2 - 1 \right) - 2\mu \left(\sum_i l_{1i} l_{2i} \right) \Rightarrow \max. \quad (C.11)$$

$$\partial Q / \partial l_{2i} = 0 \quad \sum_j l_{2j} V_{ij} - \lambda l_{2i} - \mu l_{1i} = 0 \quad (C.12)$$

を得る。これに l_{1i} をかけて i について加えると

$$\sum_i l_{1i} \left(\sum_j l_{2j} V_{ij} - \lambda l_{2i} - \mu l_{1i} \right) = 0$$

となる。これを式 (C.5)、式 (C.10) そして式 (C.2) に注意して整理すれば

$$\sum_j l_{2j} \lambda_1 l_{1j} - \lambda \sum_i l_{1i} l_{2i} - \mu = 0 \quad \mu = 0$$

を得る。こうして、 $\{l_{2i}\}$ は行列 V の固有ベクトルとして求めればよいことがわかる。 $\{l_{1i}\}$ はすでに z_1 に用いられているので、第 2 番目に大きい固有値 λ_2 に対応する固有ベクトル $\{l_{2i}\}$ が、ここで求めるものであることがわかる。

こうして、『式 (C.1) に示した m 個の主成分の係数は、分散・共分散行列 V の固有値の、大きい順に並べた m 個に対応する固有ベクトルによって与えられる』ことがわかった。

ところが、分散・共分散行列 V から出発した主成分分析は、そこで用いた測定単位に決定的に支配される場合がある。このようなときには、測定単位を基準化し

$$x'_{ai} = (x_{ai} - \bar{x}_i) / s_i \quad (C.13)$$

として、平均 0、分散 1 にしてから主成分分析を行えばよい。このとき x'_{ai} の分散・共分散行列 V' は、 x_{ai} の相関行列 R に一致するので、上述の固有値問題は、相関行列 R に適用すればよい。

以上のようにして得られた主要な主成分の性質を、以下にあげておく。

(1) 主成分 z_k の分散は、固有値 λ_k に等しい。

(2) p 個の固有値の和が、分散・共分散行列の trace に等しい。すなわち、

$$\sum_{k=1}^p \lambda_k = \text{trace}(V) = \sum_{i=1}^p V_{ii} \quad (\text{C.14})$$

であることから、 m 個の主成分の寄与率は、分散・共分散行列 V から出発したとき

$$\sum_{k=1}^m \lambda_k / \sum_{i=1}^p V_{ii} \quad (\text{C.15})$$

で与えられる。相関行列 R から出発したときは

$$\sum_{k=1}^p \lambda_k = \text{trace}(R) = p \quad (\text{C.16})$$

となるので、 m 個の主成分の寄与率は

$$\sum_{k=1}^m \lambda_k / p \quad (\text{C.17})$$

となる。

(3) 各主成分は互いに無相関である。

$$\text{Cov}[z_k, z_{k'}] = 0 \quad (k \neq k')$$

(4) 主成分 z_k ともとの特性値 x_i との相関は次式で与えられ、因子負荷量と呼ぶ（ここで

$$s_i = \sqrt{V_{ii}} \text{ とおく）}.$$

$$r(z_k, x_i) = \frac{\text{Cov}[z_k, x_i]}{\sqrt{V[z_k]} \cdot \sqrt{V[x_i]}} = \frac{\sum l_{kj} V_{ij}}{\sqrt{\lambda_k V_{ii}}} = \frac{\lambda_k l_{ki}}{\sqrt{\lambda_k V_{ii}}} = \frac{\sqrt{\lambda_k} l_{ki}}{s_i} \quad (\text{C.18})$$

(5) 第 k 主成分に対する因子負荷量の s_i を重みとする 2 乗和は λ_k に等しい。

$$\sum_{i=1}^p s_i^2 \cdot r^2(z_k, x_i) = \lambda_k \sum_{i=1}^p l_{ki}^2 = \lambda_k \quad (\text{C.19})$$

(6) m 個の主成分のもとの変数 x_i に対する寄与率 ν_i は次式で与えられる。

$$\nu_i = \sum_{k=1}^m r^2(z_k, x_i) = \sum_{k=1}^m \lambda_k l_{ki}^2 / s_i^2 \quad (\text{C.20})$$

参考文献

奥野忠一・久米均・芳賀敏郎・吉澤正：《改訂版》多変量解析法，日科技連，1981。